



ARTIGO ORIGINAL

Modelagem da distribuição diamétrica e hipsométrica de espécies comerciais nativas da Amazônia brasileira

Modeling the diametric and hypsometric distribution of commercial species native to the Brazilian Amazon

Deiwisson Willam da Silva Santos¹ , Thiago Floriani Stepka¹ , André Felipe Hess¹ 

¹Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Lages, SC, Brasil

Como citar: Santos, D. W. S., Stepka, T. F., & Hess, A. F. (2023). Modelagem da distribuição diamétrica e hipsométrica de espécies comerciais nativas da Amazônia brasileira. *Scientia Forestalis*, 51, e3947. <https://doi.org/10.18671/scifor.v51.15>

Resumo

Para o planejamento e eficiência nas práticas sustentáveis de manejo florestal na Amazônia, é necessária a caracterização do comportamento de espécies comerciais de interesse mediante o estudo da distribuição de suas principais variáveis dendrométricas, como diâmetro e altura. O objetivo do estudo foi avaliar o desempenho de funções de densidade probabilística na distribuição diamétrica e da altura comercial de dez espécies da Amazônia. O estudo foi realizado em uma área de manejo florestal localizada na Reserva Extrativista (Resex) Tapajós-Arapiuns, a partir do censo das árvores com diâmetro à altura do peito (“d”) ≥ 35 cm de uma unidade de produção anual de manejo florestal sustentável, onde foram selecionadas as dez espécies de maior valor comercial da área para a avaliação do desempenho das funções de densidade probabilística de Gauss, Weibull 3P, Weibull 2P, Beta e Gama, buscando a representação de distribuições em altura comercial e “d”. Para a avaliação da aderência dos ajustes, bem como para a escolha das melhores funções para cada variável, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov a 1% de probabilidade de erro. A população apresentou o total de 6.961 árvores, com diâmetro médio de 66,4 cm (σ^2 de 428,4 cm²) e altura comercial média de 16,2 m (σ^2 a de 16,7 m²). Em geral, as espécies apresentaram um formato de distribuição diamétrica distinto do habitual para essa tipologia vegetal, devido possivelmente ao elevado nível de inclusão adotado no censo. A função Weibull 3P obteve melhor desempenho da distribuição diamétrica na maioria das espécies, dentre elas *Couratari guianensis* Aubl., *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr., *Hymenaea courbaril* L. e *Goupia glabra* Aubl., com menores discrepâncias entre os valores observados e estimados. Já para a distribuição de altura comercial, a função normal de Gauss representou melhor a distribuição nas espécies *Couratari guianensis* Aubl., *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr., *Hymenaea courbaril* L., *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. e *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, com maior concentração de árvores nas classes intermediárias de altura, evidenciando uma tendência à distribuição unimodal.

Palavras-chave: Função de densidade probabilística; Manejo florestal; Resex Tapajós-Arapiuns.

Abstract

For planning and efficiency in sustainable forest management practices in the Amazon, it is necessary to characterize the behavior of commercial species of interest by studying the distribution of their main dendrometric variables, such as diameter and height. The objective of the study was to evaluate the performance of probabilistic density functions in the diameter distribution and commercial height of ten species from the Amazon. The study was carried out in a forest management area located in the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve (Resex), based on the census with diameter at breast height (“d”) ≥ 35 cm from an annual production unit of sustainable forest management. Ten species of highest commercial

Fonte de financiamento: Programa de Apoio à Pós-Graduação – PROAP.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

Autor correspondente: thiago.stepka@udesc.br

Recebido: 9 setembro 2022.

Aceito: 8 fevereiro 2023.

Editor: Mauro Valdir Schumacher.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o artigo científico seja corretamente citado.

value in the area were chosen to evaluate the performance of Gauss, Weibull 3P, Weibull 2P, Beta and Gamma probabilistic density functions, seeking to represent distributions in commercial height and "d". To assess the adherence of the adjustments, as well as to choose the best functions for each variable, the Kolmogorov-Smirnov test was used at 1% error probability. The population comprised a total of 6,961 trees, with an average diameter of 66.4 cm (σ^2 of 428.4 cm²) and average commercial height of 16.2 m (σ^2 of 16.7 m²). In general, the species presented a different diametric distribution format than usual for this plant typology, possibly due to the high level of inclusion adopted in the census. The Weibull 3P function had a better performance of the diameter distribution for most species; among them *Couratari guianensis* Aubl., *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr., *Hymenaea courbaril* L. and *Goupia glabra* Aubl., with smaller discrepancies between the observed and estimated values. As for the commercial height distribution, the Gauss normal function represented the distribution better in the species *Couratari guianensis* Aubl., *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr., *Hymenaea courbaril* L., *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. and *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, with a higher concentration of trees in the intermediate height classes, showing a tendency to the unimodal distribution.

Keywords: Probabilistic density function; Forest management; Resex Tapajós-Arapiuns.

INTRODUÇÃO

A evidente heterogeneidade e fragilidade dos ambientes florestais amazônicos, aliado à carência de informações sobre seu comportamento, tem gerado uso inadequado e a inviabilidade no manejo de recursos florestais, o que evidencia a necessidade do desenvolvimento de pesquisas que possibilitem a compreensão e simplificação de suas características estruturais (Oliveira, 2020). Nesse sentido, a eficiência do manejo florestal sustentável, aliado a conservação da flora nativa, está fortemente relacionado ao conhecimento da composição florística e características dendrométricas de cada espécie, uma vez que, a partir de informações quali-quantitativas, é possível inferir acerca do comportamento que cada componente assume dentro da comunidade (Oliveira et al., 2008).

A distribuição diamétrica de uma população compreende a distribuição dos indivíduos em função de suas dimensões relacionadas com uma unidade de área, geralmente distribuídos em classes de tamanho, possibilitando a estimativa do número de árvores por hectare em cada classe existente (Miguel et al., 2010; Téó et al., 2011). Seja para produção ou uso sustentável de recursos naturais, a distribuição diamétrica permite a caracterização do estoque de madeira disponível antes e depois da exploração, gerando maiores probabilidades de projeções temporais acerca da população, além de possibilitar o detalhamento confiável de características dendrométricas que fornecem subsídios necessários às tomadas de decisões (Scolforo et al., 1998; Pulz et al., 1999).

Em geral, a distribuição diamétrica de florestas tropicais sem níveis significativos de perturbações antrópicas, apresentam o formato de J-invertido, onde a maioria dos indivíduos estão presentes nas menores classe de tamanho (Hess et al., 2010). No entanto, quando se considera o comportamento ecofisiológico individual das espécies estudadas, essa distribuição pode variar muito do modelo geral, apresentando uma grande variedade de formas como exponencial negativa, unimodal, bimodal ou irregular, que mantem uma relação direta com as características estruturais de cada espécie (Reis et al., 2014; Dalla Lana et al., 2013).

O diâmetro à altura do peito ("d") está presente na maioria das relações e funções de estimativas, como relações hipsométricas e volumétricas, sendo a única variável independente em muitas delas, principalmente por sua grande capacidade de descrição dos padrões de crescimento de uma árvore (Machado & Figueiredo Filho, 2006; Lima & Leão, 2013). Além de garantir informações imprescindíveis às atividades de exploração, a distribuição diamétrica permite, além da compreensão dos componentes de uma população, a prognose da produção florestal mediante o uso de Funções de Densidade Probabilística (FDP) (Ferreira, 2011; Oliveira, 2020).

Assim como o diâmetro, a altura constitui-se em uma importante variável dendrométrica na compreensão do comportamento estrutural de espécies de interesse, possibilitando a

determinação do volume, incremento em altura, bem como indicar a capacidade produtiva de um local (Silva et al., 2012). Se tratando de florestas nativas, essa variável possibilita o planejamento e execução do manejo de forma segura e confiável, uma vez que permite o detalhamento da estrutura vertical da comunidade, além da determinação de espécies com maior índice de importância ecológica na área (Souza & Souza, 2004).

A avaliação de sustentabilidade ambiental da área de interesse através da estratificação vertical, influenciando em características como riqueza, diversidade e produção de biomassa, o que exige a medição da altura ou sua estimativa com elevado grau de confiabilidade (Silva et al., 2012). O conhecimento da altura comercial das árvores garante a otimização do processamento da madeira em diversos setores, principalmente na serraria, possibilitando a melhor combinação de toras a serem retiradas visando o máximo aproveitamento de cada espécie (Souza, 2007).

Os ajustes de distribuições probabilísticas podem ser entendidos como a seleção da distribuição estatística que melhor se adapta e explica um conjunto de dados gerados por um processo aleatório, que escolhidos de forma equivocada, podem acarretar sérios prejuízos à produção, constituindo assim uma importante ferramenta para sanar incertezas nos mais diversos campos da ciência (Khudri; Sadia, 2013). As funções de Densidade Probabilística (FDP) constituem uma das melhores formas de descrição da distribuição diamétrica de espécies de interesse, ou mesmo de toda a floresta, já utilizada por diversos autores por meio da distribuição de frequências por classes de diâmetro (Silva Santos & Stepka, 2021; Machado et al., 2009; Bartoszeck et al., 2004; Abreu et al., 2002).

A determinação da forma de distribuição das variáveis altura comercial e diâmetro ("d"), a partir de funções probabilísticas, pode vir a subsidiar as atividades de exploração e monitoramento das principais espécies comerciais de forma individual, assim, o objetivo do estudo foi a avaliação do desempenho destas funções em dez espécies da Amazônia brasileira, no estado do Pará.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado na Reserva Extrativista (Resex) Tapajós-Arapiuns, localizada a aproximadamente 300 km do município de Santarém, região Oeste do estado do Pará. A área total da Reserva compreende os municípios de Santarém e Aveiro (Figura 1), entre as coordenadas (02° 20' a 03° 40' S, e 55° 00' a 56° 00' O), totalizando 647.610 hectares. O acesso à área de manejo é subdividido em duas partes: primeiramente o acesso por via fluvial até uma das últimas comunidades da Reserva (Tucumatuba), onde fica localizado o porto de escoamento da produção; em seguida o acesso se dá por via terrestre por cerca de 52 km até as instalações da UPA 02, onde o manejo está sendo realizado atualmente.

A vegetação da área em grande maioria (88%) é classificada como Floresta Ombrófila Densa, predominando árvores de grande porte com a formação de um dossel, junto a presença de epífitas e cipós lenhosos, com a ocorrência de algumas manchas de savana, igapós e floresta aberta com palmeiras (Brasil, 2008). O solo é do tipo Latossolo Amarelo, com relevo que varia de plano a suavemente ondulado (Silva et al., 2018).

O clima da região de acordo com a classificação Köppen é do tipo Am (tropical úmido), com temperatura média anual variando entre 26 e 27 °C, umidade relativa do ar em torno de 86% e precipitação anual entre 1.287 e 2.538 mm. O período chuvoso compreende os meses de dezembro a julho, onde as médias mensais variam entre 170 e 300 mm, e o período seco entre os meses de agosto a novembro, com médias mensais abaixo de 60 mm (Brasil, 2008).

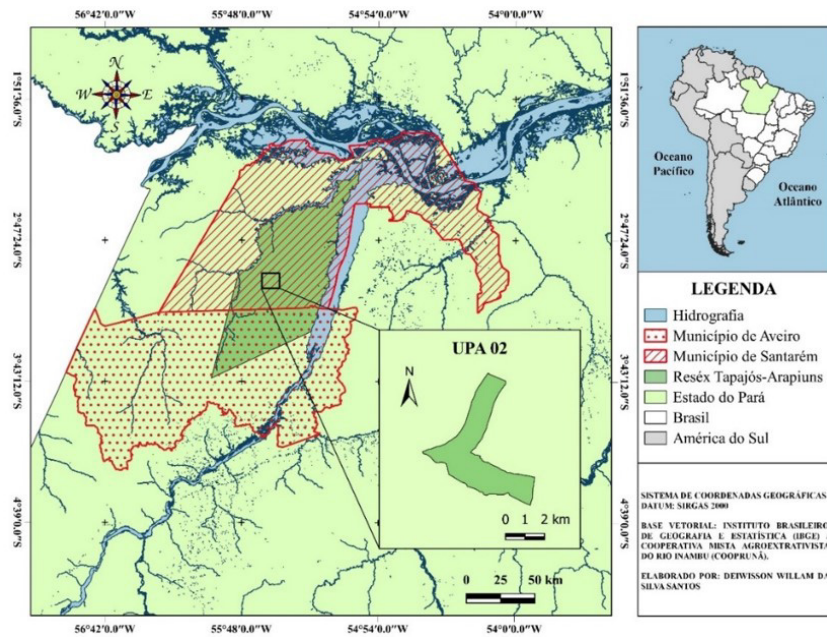


Figura 1. Mapa de localização da Reserva extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará, Brasil, com destaque para a localização da UPA 02 (local de estudo).

Base de dados

As informações são de origem da base de dados do inventário a 100% da Unidade de Produção Anual 02 (UPA 02), realizado no ano de 2019 pela empresa Amazon Consult em parceria com a Cooperativa Mista Agroextrativista do Rio Inambú (COOPRUNÁ), onde foram mensuradas as variáveis dendrométricas altura comercial (que vai da base até o diâmetro mínimo comercial) com hipsômetro Vertex IV, diâmetro à altura do peito (“d”), qualidade de fuste, além da localização (latitude e longitude) de cada árvore. O inventário a 100% consiste em um censo de todas as árvores comerciais com “d” ≥ 35 cm (diâmetro mínimo de corte), onde são identificadas e marcadas todas as árvores selecionadas para colheita, além das matrizes e as localizadas em áreas de preservação permanente (APP).

A UPA 02 possui 14 unidades de trabalho (UTs) correspondendo cada uma a 107,14 hectares, totalizando 1.500 hectares. Para a realização do estudo foram selecionados dados dendrométricos das dez espécies de maior valor comercial da área, dentre elas Ipê-Roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos), Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), Jutai-Mirim (*Hymenaea parvifolia* Huber), Cupiúba (*Goupia glabra* Aubl.), Garapeira (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr.), Tauari (*Couratari guianensis* Aubl.), Pequiá (*Caryocar villosum* (Aubl.) Pers.), Maparajuba (*Manilkara paraensis* (Huber) Standl.), Jarana (*Holopyxidium jarana* Huber ex Ducke Huber) e Cumarú (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.).

Análise de dados

Os dados foram agrupados em classes diamétricas de 15 cm de amplitude, e classes de altura com 10 m de amplitude, ambas determinadas a partir da fórmula de Sturges (1926). Foram ajustados seis modelos de Função de Densidade Probabilística (FDP) (Tabela 1) para cada uma das espécies, mediante a frequência de árvores em função do Centro de Classe de DAP (CCDAP cm) e do Centro de Classe de altura (CCH m). Devido à baixa frequência de árvores em algumas espécies como *Handroanthus impetiginosus*, e a necessidade de comparações entre as estimativas de cada espécie, a extrapolação dos dados foi realizada com referência a 1.000 hectares (N/1.000 ha), seguindo a metodologia proposta por Oliveira (2020), que destaca o tamanho médio de talhões (UPAs) na Amazônia.

Tabela 1. Funções de Densidade Probabilística ajustadas para as dez espécies de maior valor comercial da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará, Brasil.

Nome	Função Densidade Probabilística (FDP)
Gauss	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-b}{\sigma}\right)^2}$
Log Normal	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{\ln(x) - \mu^2}{2\sigma^2}\right]$
Weibull 2P (2 parâmetros)	$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c}$
Weibull 3P (3 parâmetros)	$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c}$
Beta	$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1}$
Gama	$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}$

Em que: $f(x)$ = função a ser ajustada; x = variável aleatória estudada ("d" e altura comercial); valor mínimo da variável X (a), média (b), desvio padrão (c); parâmetros de localização (a), escala (b) e forma (c) da distribuição a serem estimados.

Os cálculos de média (\bar{g}) e desvio padrão (σ) são realizados de maneira específica em cada distribuição, seguindo os requisitos exigidos para cada uma delas (Tabela 2), onde (a) equivale ao parâmetro de localização, (b) de escala e (c) de forma. O parâmetro (a) representa o menor limite da distribuição, (b) representa a média e (c) o desvio padrão das respectivas distribuições.

Tabela 2. Média e Variância para as distribuições de Gauss, Log Normal, Weibull 2P, Weibull 3P, Beta e Gama.

Nome	Média	Variância
Gauss	$\mu = b$	$\sigma^2 = c^2$
Log Normal	$\mu = e^{b+c^2/2}$	$\sigma^2 = e^{2b+c^2} (e^{c^2} - 1)$
Weibull 2	$\mu = b * \Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)$	$\sigma^2 = b^2 * \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{c}\right)\right]$
Weibull 3	$\mu = a + b * \Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)$	$\sigma^2 = b^2 * \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{c}\right)\right]$
Beta	$\mu = \frac{a}{a+b}$	$\sigma^2 = \frac{ab}{(a+b)^2(a+b+1)}$
Gama	$\mu = a * b$	$\sigma^2 = b^2 * a$

Em que: μ = média da distribuição; σ^2 = variância da distribuição; parâmetros de localização (a), escala (b) e forma (c) da distribuição a serem estimados.

Para a seleção do melhor modelo e a verificação da qualidade dos ajustes obtidos para cada função nos diferentes intervalos de classes, bem como a aderência de cada distribuição, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) ($\hat{\alpha}=1\%$), amplamente utilizado por diversos autores em comparações da precisão de valores estimados por meio de distribuições probabilísticas com as respectivas frequências observadas acumuladas, onde a classe que apresenta a maior divergência entre as distribuições é utilizada para o cálculo do valor "Dcalc" de K-S (Machado et al., 2009; Bila et al., 2018; Reis et al., 2018).

$$D_{calc} = (> |F_{obs} - F_{est}|)/n$$

$$D_n(1\%) = 1,63/\sqrt{n}$$

Em que: D_{calc} = valor calculado de Kolmogorov-Smirnov; $D_n(1\%)$ = valor de KS tabelado em nível $\hat{\alpha}$ de probabilidade; $>|F_{obs} - F_{est}|$ = Maior diferença em módulo, perante todas as classes, entre frequência observada acumulada e frequência estimada acumulada; n = número de indivíduos.

O teste de Kolmogorov-Smirnov é preferível ao teste de Qui-quadrado, uma vez que, se tratando de amostras com o número de observações por classe inferiores a cinco, podem apresentar tendências nos valores e conseqüentemente nas comparações entre modelos (Scolforo, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A população apresentou o total de 6.961 árvores para as 10 espécies avaliadas, com altura comercial média de 16,2 m, variância de 16,7 m², com mínimo de 5 e máximo de 29 metros. Já o diâmetro médio foi de 66,4 cm, com variância de 428,4 cm², mínimo de 35,7 e máximo de 165,5 centímetros, indicando elevada variabilidade de diâmetro na área. Ambas as características dendrométricas apresentaram assimetria positiva, com curtose negativa para altura, indicando uma tendência à uma distribuição Platicúrtica, e curtose positiva para o diâmetro, tendendo à distribuição Leptocúrtica, que possivelmente dificultaria a sua representação por um modelo pouco flexível, como por exemplo, o de Gauss.

A espécie *Hymenaea parvifolia* foi a mais abundante encontrada na área, com o total de 1.509 árvores distribuídas ao longo da UPA (Figura 2), apensar se ser considerada como vulnerável à extinção pelo CNCFlora (Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2023). A espécie *Handroanthus impetiginosus*, considerada pela Cooperativa como a espécie de maior valor econômico da área, apresentou as maiores dimensões, tanto em altura comercial quanto em "d". Os menores diâmetros identificados foram para a espécie *Holopyxidium jarana*, com valores variando de 35,7 a 102,2 cm. Os menores registros de alturas foram pertencentes as espécies *Apuleia leiocarpa*, *Goupia glabra* e *Manilkara paraensis*, com alturas comerciais mínimas de 5 metros.

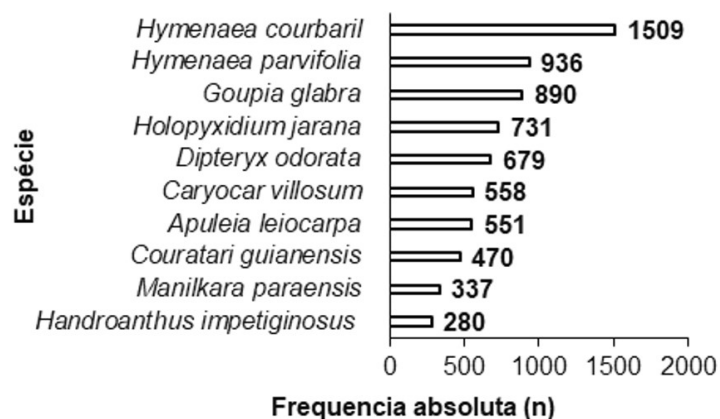


Figura 2. Frequência absoluta para as principais espécies comerciais presentes na UPA 02 da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Pará, Brasil.

As distribuições diamétricas foram estimadas para cada uma das dez espécies, a partir das funções probabilísticas de Gauss, Weibull 2P, Weibull 3P, Log normal, Beta e Gama (Figura 3).

As estatísticas e coeficientes das funções ajustadas podem ser observadas na Tabela 3. A função Weibull 3P obteve resultados satisfatórios na modelagem da distribuição diamétrica das espécies *Couratari guianensis* (Dn. = 0,0974 > Dcal. = 0,0014), *Apuleia leiocarpa* (Dn. = 0,0752 > Dcal. = 0,0007), *Hymenaea courbaril* (Dn. = 0,0603 > Dcal. = 0,0005) e *Goupia glabra* (Dn. = 0,0678 > Dcal. = 0,0022), com ajustes aderentes e menores discrepâncias entre os valores observados e estimados, de acordo com a estatística dos ajustes (Tabela 3). A distribuição Gama apresentou melhor aderência às espécies *Hymenaea parvifolia* (Dn. = 0,0420 > Dcal. = 0,0006) e *Holopyxydium jarana* (Dn. = 0,0546 > Dcal. = 0,0008).

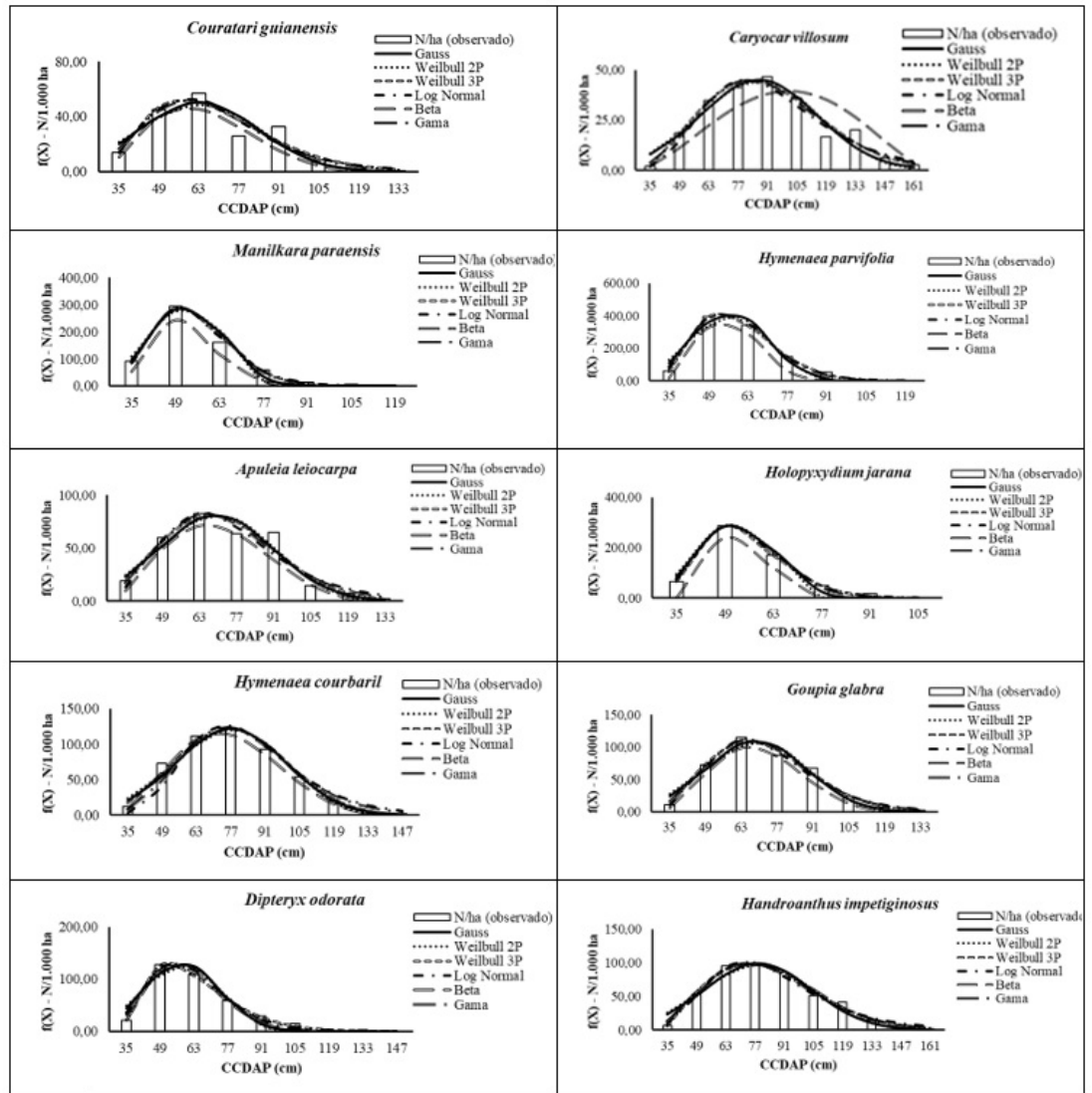


Figura 3. Distribuição diamétrica observada e distribuição estimada com as funções de Gauss, Weibull 2P, Weibull 3P, Log Normal, Beta e Gama para *Couratari guianensis*, *Caryocar villosum*, *Manilkara paraensis*, *Hymenaea parvifolia*, *Apuleia leiocarpa*, *Holopyxidium jarana*, *Hymenaea courbaril*, *Goupia glabra*, *Dipteryx odorata* e *Handroanthus impetiginosus*.

Tabela 3. Estatística dos modelos de Gauss, Weibull 2P, Weibull 3P, Log Normal, Beta e Gama para as distribuições diamétricas das espécies *Couratari guianensis*, *Caryocar villosum*, *Manilkara paraensis*, *Hymenaea parvifolia*, *Apuleia leiocarpa*, *Holopyxidium jarana*, *Hymenaea courbaril*, *Goupia glabra*, *Dipteryx odorata* e *Handroanthus impetiginosus*.

<i>Couratari guianensis</i> (Tauari)							
FDP	a	b	c	μ (cm)	σ^2 (cm ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	63,117	20,705	63,1	428,7	0,0974	0,0280*
Log Normal	-	4,171	0,316	68,1	486,8		0,0056*
Weibull 2P	-	70,618	3,380	63,4	428,9		0,0264*
Weibull 3P	32,367	40,243	1,780	68,2	432,6		0,0014*
Beta	2,802	5,710	-	64,9	263,3		0,1316 ^{ns}
Gama	10,374	6,410	-	66,5	426,3		0,0058*
<i>Caryocar villosum</i> (Pequiá)							
FDP	a	b	c	μ (cm)	σ^2 (cm ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	86,880	27,733	86,9	769,1	0,0888	0,0117*
Log Normal	-	4,491	0,328	94,1	1006,4		0,0176*
Weibull 2P	-	96,411	3,525	86,8	744,7		0,0082*
Weibull 3P	32,339	65,935	2,254	90,7	751,9		0,0048*
Beta	2,751	2,597	-	100,0	250,0		0,0006*
Gama	9,944	9,198	-	91,5	841,4		0,0088*

Tabela 3. Continuação...

<i>Manilkara paraensis</i> (Maparajuba)							
FDP	a	b	c	μ (cm)	σ ² (cm ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	52,619	11,743	52,6	137,9	0,0533	0,0086*
Log Normal	-	3,974	0,231	54,6	163,9		0,0007*
Weibull 2P	-	55,931	5,016	51,4	137,6		0,0164*
Weibull 3P	31,354	26,094	2,025	54,5	142,9		0,0041*
Beta	4,189	12,808	-	52,2	355,5		0,2049 ^{ns}
Gama	19,640	2,749	-	54,0	148,4		0,0012*
<i>Hymenaea parvifolia</i> (Jutaí-Mirim)							
FDP	a	b	c	μ (cm)	σ ² (cm ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	56,678	13,148	56,7	172,9	0,0420	0,0074*
Log Normal	-	4,053	0,234	59,2	197,5		0,0007*
Weibull 2P	-	61,010	4,674	55,8	184,7		0,0144*
Weibull 3P	33,661	28,668	1,912	59,1	191,6		0,0125*
Beta	5,469	13,009	-	57,0	425,8		0,2017 ^{ns}
Gama	18,923	3,081	-	58,3	179,6		0,0006*
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Grapeira)							
FDP	a	b	c	μ (cm)	σ ² (cm ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	69,266	21,493	69,3	461,9	0,0752	0,0171*
Log Normal	-	4,256	0,313	74,0	565,3		0,0096*
Weibull 2P	-	76,596	3,672	69,1	438,4		0,0148*
Weibull 3P	24,646	52,885	2,432	71,5	423,2		0,0007*
Beta	2,992	4,913	-	70,4	262,6		0,1329 ^{ns}
Gama	10,754	6,725	-	72,3	486,4		0,0056*
<i>Holopyxidium jarana</i> (Jarana)							
FDP	a	b	c	μ (cm)	σ ² (cm ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	52,514	11,036	52,5	121,8	0,0546	0,0058*
Log Normal	-	3,973	0,220	54,5	147,6		0,0012*
Weibull 2P	-	55,298	5,556	51,1	112,9		0,0109*
Weibull 3P	33,668	23,329	1,790	54,4	143,8		0,0142*
Beta	9,578	21,142	-	54,2	599,7		0,2593 ^{ns}
Gama	21,705	2,480	-	53,8	133,5		0,0008*
<i>Hymenaea courbaril</i> (Jatobá)							
FDP	a	b	c	μ (cm)	σ ² (cm ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	77,158	22,208	77,2	493,2	0,0603	0,0083*
Log Normal	-	4,386	0,277	83,5	558,0		0,0062*
Weibull 2P	-	84,241	3,905	76,3	477,9		0,0080*
Weibull 3P	19,736	65,543	2,970	78,2	460,3		0,0005*
Beta	3,328	5,341	-	76,4	316,2		0,0669 ^{ns}
Gama	12,843	6,329	-	81,3	514,4		0,0028*
<i>Goupia glabra</i> (Cupiúba)							
FDP	a	b	c	μ (cm)	σ ² (cm ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	68,879	19,480	68,9	379,5	0,0678	0,0107*
Log Normal	-	4,248	0,283	72,8	442,0		0,0047*
Weibull 2P	-	75,499	3,942	68,4	377,8		0,0117*
Weibull 3P	32,094	44,686	2,177	71,7	367,4		0,0022*
Beta	3,749	6,308	-	69,8	317,6		0,1339 ^{ns}
Gama	12,961	5,512	-	71,5	393,8		0,0023*
<i>Dipteryx odorata</i> (Cumarú)							
FDP	a	b	c	μ (cm)	σ ² (cm ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	58,012	15,648	58,0	244,9	0,0694	0,0157*
Log Normal	-	4,082	0,269	61,4	283,0		0,0005*
Weibull 2P	-	63,249	4,049	57,4	253,4		0,0213*
Weibull 3P	34,514	30,638	1,617	62,0	302,6		0,0207*
Beta	3,536	10,222	-	60,4	383,1		0,0676*
Gama	14,413	4,185	-	60,3	252,4		0,0020*
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Ipê-Roxo)							
FDP	a	b	c	μ (cm)	σ ² (cm ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	78,532	25,472	78,5	648,9	0,0626	0,0150*
Log Normal	-	4,386	0,327	84,7	812,1		0,0080*
Weibull 2P	-	87,475	3,461	78,7	632,4		0,0117*
Weibull 3P	33,414	55,967	2,041	83,0	647,9		0,0044*
Beta	2,744	4,465	-	81,3	298,9		0,0007*
Gama	9,895	8,345	-	82,6	689,2		0,0039*

a, b e c = parâmetros localização, posição e escala, respectivamente; Dn. = Valor de D calculado para o teste de KS (α = 0,01); Dcal. = valor de D calculado para o teste de KS. * = significativo ao nível de 1% de probabilidade. ^{ns} = Não significativo.

A distribuição Log normal teve boa aderência para as espécies *Manilkara paraensis* (Dn. = 0,0533 > Dcal. = 0,0007) e *Dipteryx odorata* (Dn. = 0,0694 > Dcal. = 0,0005), bem como

distribuição Beta foi mais adequada para as espécies *Caryocar villosum* ($Dn. = 0,0888 > Dcal. = 0,0006$) e *Handroanthus impetiginosus* ($Dn. = 0,0626 > Dcal. = 0,0007$). Já a distribuição de Gauss não obteve boa representatividade para a distribuição diamétrica das espécies, o que já era esperado, devido principalmente à grande variação nas medidas e pela característica de assimetria das distribuições observadas.

Em relação às classes de altura comercial, os ajustes para cada distribuição podem ser observados na Figura 4. A função de Gauss apresentou melhor aderência às espécies *Couratari guianensis* ($Dn. = 0,0974 > Dcal. = 0,0008$), *Apuleia leiocarpa* ($Dn. = 0,0752 > Dcal. = 0,0000$), *Hymenaea courbaril* ($Dn. = 0,0603 > Dcal. = 0,0001$), *Dipteryx odorata* ($Dn. = 0,0694 > Dcal. = 0,0015$) e *Handroanthus impetiginosus* ($Dn. = 0,0626 > Dcal. = 0,0002$) (Tabela 4), caracterizando uma tendência da variável altura comercial a uma distribuição unimodal simétrica, com maior concentração de árvores nas classes intermediárias.

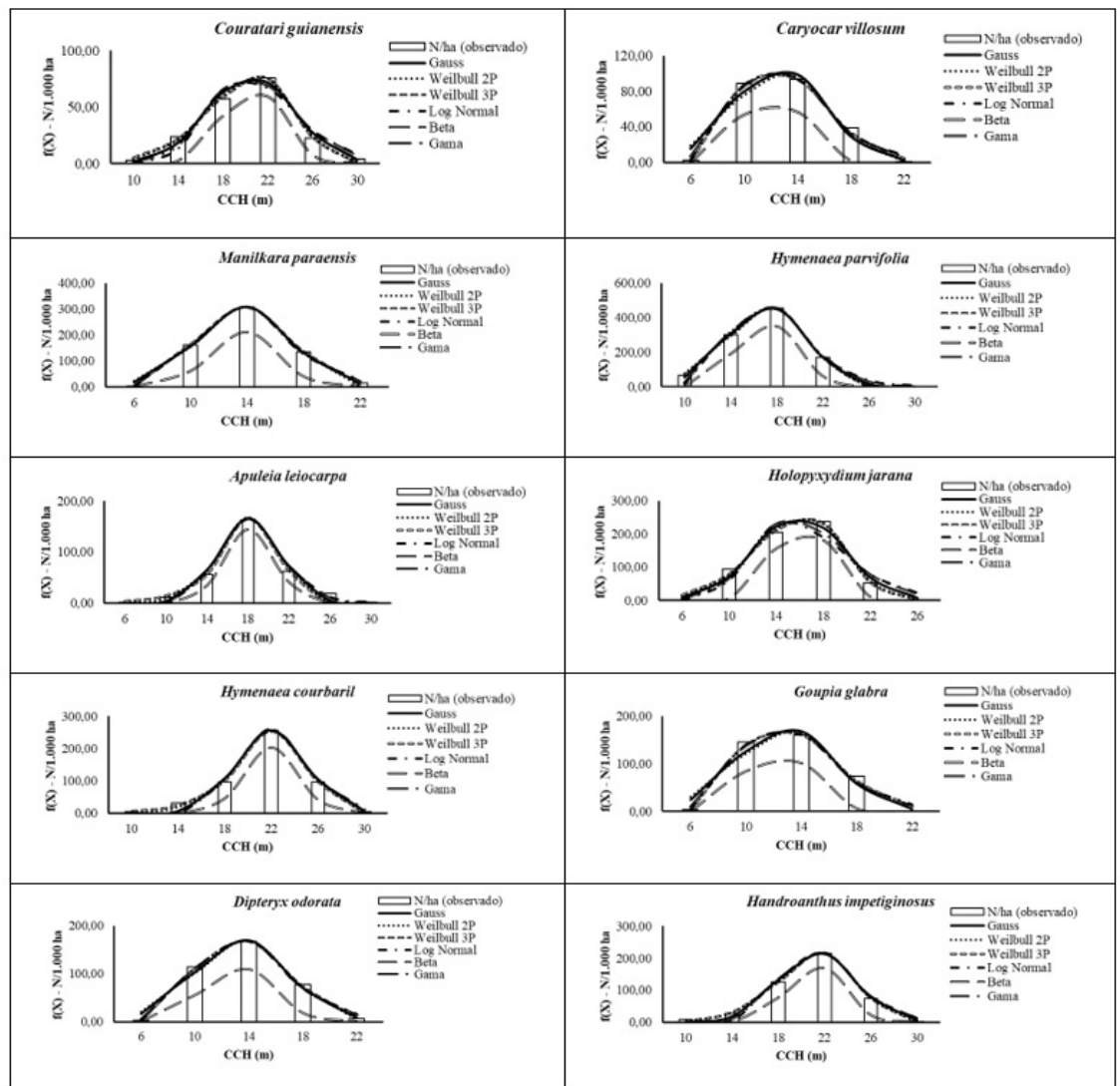


Figura 4. Distribuição de altura comercial observada e distribuição estimada com as funções de Gauss, Weibull 2P, Weibull 3P, Log Normal, Beta e Gama para *Couratari guianensis*, *Caryocar villosum*, *Manilkara paraensis*, *Hymenaea parvifolia*, *Apuleia leiocarpa*, *Holopyxydium jarana*, *Hymenaea courbaril*, *Goupia glabra*, *Dipteryx odorata* e *Handroanthus impetiginosus*.

Tabela 4. Estatística dos modelos de Gauss, Weibull 2P, Weibull 3P, Log Normal, Beta e Gama para as distribuições de altura comercial das espécies *Couratari guianensis*, *Caryocar villosum*, *Manilkara paraensis*, *Hymenaea parvifolia*, *Apuleia leiocarpa*, *Holopyxidium jarana*, *Hymenaea courbaril*, *Goupia glabra*, *Dipteryx odorata* e *Handroanthus impetiginosus*.

<i>Couratari guianensis</i> (Tauari)							
FDP	a	b	c	μ (m)	σ^2 (m ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	20,470	3,843	20,5	14,8	0,0974	0,0008*
Log Normal	-	3,031	0,191	21,1	16,6		0,0069*
Weibull 2P	-	21,584	6,068	20,0	14,8		0,0012*
Weibull 3P	-6,015	27,563	7,783	19,9	15,6		0,0029*
Beta	10,967	9,943	-	20,6	139,1		0,2667 ^{ns}
Gama	27,996	0,746	-	20,9	15,6		0,0035*
<i>Caryocar villosum</i> (Pequiá)							
FDP	a	b	c	μ (m)	σ^2 (m ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	12,596	3,331	12,6	11,1	0,0888	0,0021*
Log Normal	-	2,551	0,258	13,2	12,1		0,0029*
Weibull 2P	-	13,793	4,153	12,5	11,5		0,0019*
Weibull 3P	5,812	8,115	2,303	13,0	11,0		0,0141*
Beta	8,482	12,188	-	12,2	108,9		0,3320 ^{ns}
Gama	14,991	0,868	-	13,0	11,3		0,0018*
<i>Manilkara paraensis</i> (Maparajuba)							
FDP	a	b	c	μ (m)	σ^2 (m ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	13,777	3,229	13,8	10,4	0,0533	0,0007*
Log Normal	-	2,628	0,231	14,2	11,1		0,0040*
Weibull 2P	-	14,834	4,873	13,6	10,2		0,0004*
Weibull 3P	5,519	9,418	2,961	13,9	9,5		0,0024*
Beta	9,099	9,598	-	13,7	102,4		0,3337 ^{ns}
Gama	18,812	0,749	-	14,1	10,6		0,0020*
<i>Hymenaea parvifolia</i> (Jutaí-Mirim)							
FDP	a	b	c	μ (m)	σ^2 (m ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	17,149	3,442	17,2	11,8	0,0420	0,0016*
Log Normal	-	2,855	0,192	17,7	11,8		0,0001*
Weibull 2P	-	18,230	5,573	16,8	12,2		0,0051*
Weibull 3P	4,175	14,098	4,273	17,0	11,5		0,0011*
Beta	8,250	13,316	-	17,2	135,9		0,2660 ^{ns}
Gama	26,249	0,667	-	17,5	11,7		0,0001*
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Garapeira)							
FDP	a	b	c	μ (m)	σ^2 (m ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	18,114	3,014	18,1	9,1	0,0752	0,0000*
Log Normal	-	2,902	0,167	18,5	9,7		0,0006*
Weibull 2P	-	19,015	7,020	17,8	8,9		0,0011*
Weibull 3P	50,118	-31,011	-12,516	17,4	12,8		0,0219*
Beta	17,083	16,814	-	18,1	248,3		0,2000 ^{ns}
Gama	36,301	0,506	-	18,4	9,3		0,0002*
<i>Holopyxidium jarana</i> (Jarana)							
FDP	a	b	c	μ (m)	σ^2 (m ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	15,930	3,731	15,9	13,9	0,0546	0,0005*
Log Normal	-	2,778	0,249	16,6	17,7		0,0082*
Weibull 2P	-	17,080	4,918	15,7	13,3		0,0002*
Weibull 3P	-4,396	21,433	6,214	15,5	14,0		0,0015*
Beta	12,629	12,187	-	16,2	158,8		0,2665 ^{ns}
Gama	17,344	0,943	-	16,4	15,4		0,0032*

Tabela 4. Continuação...

<i>Hymenaea courbaril</i> (Jatobá)							
FDP	a	b	c	μ (m)	σ^2 (m ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	21,966	3,028	22,0	9,2	0,0603	0,0001*
Log Normal	-	3,092	0,136	22,2	9,20		0,0017*
Weibull 2P	-	22,902	8,257	21,6	9,7		0,0011*
Weibull 3P	-398,794	421,705	156,758	21,4	11,7		0,0073*
Beta	15,752	11,337	-	22,0	172,1		0,2673 ^{ns}
Gama	54,128	0,409	-	22,2	9,1		0,0008*
<i>Goupia glabra</i> (Cupiúba)							
FDP	a	b	c	μ (m)	σ^2 (m ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	12,851	3,443	12,8	11,8	0,0678	0,0024*
Log Normal	-	2,567	0,261	13,5	12,9		0,0045*
Weibull 2P	-	14,079	4,141	12,8	12,1		0,0018*
Weibull 3P	5,850	8,342	2,315	13,2	11,5		0,0136*
Beta	7,826	10,821	-	0,42	99,7		0,3322 ^{ns}
Gama	14,620	0,906	-	13,2	12,0		0,0026*
<i>Dipteryx odorata</i> (Cumarú)							
FDP	a	b	c	μ (m)	σ^2 (m ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	13,432	3,403	13,4	11,6	0,0694	0,0015*
Log Normal	-	2,607	0,248	14,0	12,4		0,0045*
Weibull 2P	-	14,584	4,457	13,3	11,4		0,5005 ^{ns}
Weibull 3P	5,695	9,009	2,623	13,7	10,8		0,0060*
Beta	7,456	8,786	-	12,4	89,6		0,3330 ^{ns}
Gama	16,251	0,849	-	13,8	11,7		0,0028*
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Ipê-Roxo)							
FDP	a	b	c	μ (m)	σ^2 (m ²)	Dn.	Dcal.
Gauss	-	21,289	3,297	21,3	10,9	0,0626	0,0002*
Log Normal	-	3,065	0,149	21,7	10,6		0,0016*
Weibull 2P	-	22,307	7,151	20,9	11,8		0,0005*
Weibull 3P	0,876	21,434	6,868	20,9	11,7		0,0004*
Beta	13,326	10,996	-	21,2	158,5		0,2668 ^{ns}
Gama	43,981	0,490	-	21,6	10,6		0,0010*

a, b e c = parâmetros localização, posição e escala, respectivamente; Dn. = Valor de D calculado para o teste de KS ($\alpha = 0,01$); Dcal. = valor de D calculado para o teste de KS. * = significativo ao nível de 1% de probabilidade. ^{ns} = Não significativo.

A função de Weibull 2P destacou-se na representação das frequências das espécies *Manilkara paraensis* (Dn. = 0,0533 > Dcal. = 0,0004), *Holopyxidium Jarana* (Dn. = 0,0546 > Dcal. = 0,0002) e *Goupia glabra* (Dn. = 0,0678 > Dcal. = 0,0018), com melhores estimativas, bem como a função Gama obteve destaque para a espécie *Caryocar villosum* (Dn. = 0,0888 > Dcal. = 0,0018) (Tabela 4). Para a espécie *Hymenaea parvifolia*, as funções Log normal e Gama proporcionaram melhor representatividade em sua distribuição, com os valores respectivos de (Dn. = 0,0420 > Dcal. = 0,0001) e (Dn. = 0,0420 > Dcal. = 0,0001).

As medidas dendrométricas de altura comercial e diâmetro apresentaram elevada variabilidade, também observadas por Cysneiros et al. (2017) e Lansanova et al. (2018) em espécies nativas da Amazônia, reforçando essa característica fortemente presente em florestas naturais, especialmente as florestas amazônicas. De acordo com Cysneiros et al. (2017), as florestas nativas, diferente de povoamentos florestais, apresentam grande heterogeneidade em sua formação vegetal devido à variabilidade de idade entre os indivíduos, o que caracteriza essa tipologia florestal como multiânea. Para Lima e Leão (2013), as florestas nativas são marcadas por uma alta diversidade de espécies, amplamente distribuídas devido a variadas condições de luminosidade e outros fatores preponderantes a ausência de uniformidade dentre os indivíduos, o que eleva consideravelmente os valores de variância e coeficiente de variação das variáveis dendrométricas, especialmente o diâmetro.

Além disso, conhecer e caracterizar a estrutura diamétrica de uma floresta é o passo inicial na avaliação de seu potencial econômico, servindo como base ao planejamento e tomadas de decisões no manejo florestal sustentável (Santos et al., 2016). De acordo com Cruz et al. (2021), a melhor ferramenta atualmente, para a descrição da estrutura diamétrica de uma floresta ou espécie, é a utilização de Funções de Densidade Probabilística, onde é possível obter a probabilidade de ocorrência de árvores em determinados intervalos de diâmetro.

Apesar de florestas inequidêneas apresentarem, em geral, um formato exponencial decrescente com o aumento das classes diamétricas, como observado por Lima & Leão (2013), Cysneiros et al. (2017) e Reis et al. (2018), que o destacam como um indicador de áreas sem grandes níveis de perturbações antrópicas, não foi observada essa tendência na distribuição diamétrica das espécies na área estudada, possivelmente pelo nível de inclusão mais elevado adotado no censo.

O teste de K-S é amplamente utilizado na avaliação da aderência de funções de densidade probabilística, apresentando grande vantagem quando comparado a outros testes também aplicáveis, como o teste de qui-quadrado, uma vez que permite a replicação em pequenas e grandes amostras, possibilitando o trabalho com dados agrupados ou isolados (Longo et al., 2006; Miguel et al., 2010).

A função Weibull 3P obteve a melhor aderência para a representação das distribuições diamétricas das espécies *Couratari guianensis*, *Apuleia leiocarpa*, *Hymenaea courbaril* e *Goupia glabra*. Resultados semelhantes foram observados por Dalla Lana et al. (2013) no estudo em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa, onde a flexibilização da função Weibull 3P foi decisiva para a escolha do melhor modelo, bem como por Ciarnoschi et al. (2019) modelando a distribuição diamétrica de três espécies nativas da região Amazônica, obtendo grande representatividade e aderência aos ajustes. Santos et al. (2016) avaliaram a distribuição diamétrica de espécies nativas utilizando as funções de densidade probabilística, verificando melhor aderência aos dados por parte da função Weibull 3P, destacando, novamente, sua flexibilidade para aplicação em florestas heterogêneas.

De acordo com Santos et al. (2016) e Guilherme et al. (2020), a presença de elevada variação em características como altura e diâmetro influencia diretamente na estimativa dos parâmetros, e em consequência, na aderência de funções de densidade probabilísticas pouco flexíveis, como por exemplo, a função de Gauss. No entanto, avaliar o desempenho de diferentes funções probabilísticas na modelagem de variáveis como altura comercial e diâmetro das espécies, de forma individual e em diferentes biomas, é pertinente ao enriquecimento da literatura acerca do assunto, principalmente no que diz respeito a espécies amazônicas, cuja carência de informações ainda é evidente, além de vir a subsidiar as atividades de exploração e monitoramento das principais espécies comerciais de forma individual.

De acordo com Scolforo (2006), algumas funções probabilísticas como Weibull, Beta e Gama são bastante flexíveis, capazes de assumir diversas formas e graus de assimetria para o ajuste a diferentes tipos de curvas, aplicáveis tanto em povoamentos florestais quanto florestas nativas. Oliveira (2020) também avaliou a modelagem da distribuição diamétrica de espécies comerciais da Amazônia, dentre elas *Manilkara huberi*, *Handroanthus* spp., *Goupia glabra* e *Dipteryx odorata*, a partir das mesmas funções de densidade probabilísticas, com acréscimo da função SB de Johnson, obtendo resultados satisfatórios em todas elas, com exceção da função normal Gauss, que não obteve aderência a todas as espécies avaliadas.

Em relação as classes de altura comercial, a função de Gauss obteve boa aderência para as espécies *Couratari guianensis*, *Apuleia leiocarpa*, *Hymenaea courbaril*, *Dipteryx odorata* e *Handroanthus impetiginosus*. Callegaro et al. (2012) observaram a mesma tendência para classes de altura em um fragmento de floresta, apresentando a maioria de árvores (61,2%) agrupadas nas classes intermediárias. De acordo com Silva (2003) e Stepka et al. (2011), grande parte das variáveis contínuas comportam-se de acordo com essa distribuição, constituindo uma ferramenta amplamente utilizada na área florestal e em variados campos da estatística.

Apesar da função Beta possuir grande capacidade de flexibilização para diversas formas de variáveis, como destacado por Silva (2003) e Maraschin Junior et al. (2017), não apresentou aderência significativa à distribuição de nenhuma das espécies, de acordo com o teste de K-S, com subestimativas em todas as classes de altura analisadas, sendo, portanto, não indicada

para a modelagem da distribuição de altura comercial de espécies nessa área. Souza et al. (2013) apresentaram resultados satisfatórios em ajustes da distribuição de altura, onde a função Beta apresentou a melhor aderência às distribuições, porém, em povoamentos equiâneos.

Não é comum encontrar na literatura estudos que utilizam funções de densidade probabilística na modelagem de frequências de altura em florestas amazônicas. Machado et al. (2009) destacam a importância da realização de pesquisas que utilizem ajustes de funções de densidade probabilística para modelar a distribuição de frequências por unidade de área em plantios florestais ou florestas nativas, na garantia de maiores níveis de confiabilidade. Além disso, avaliar a qualidade e aderência dos ajustes para a escolha mais adequada na representação de variáveis dendrométricas a nível de espécie é de grande importância na eficiência do manejo florestal sustentável.

CONCLUSÕES

O diâmetro apresentou alta variabilidade, ocasionando em grandes amplitudes diamétricas que dificultam a aderência de funções de densidade probabilística pouco flexíveis, além de um formato de distribuição diamétrica distinto do habitual encontrado em florestas com as mesmas características, devido principalmente ao nível de inclusão adotado no inventário.

A variável altura comercial apresentou baixa variação entre as espécies, ocasionando tendência à distribuição normal, com maior quantidade de árvores nas classes intermediárias. A função Weibull 3P obteve as melhores modelagens na distribuição diamétrica da maioria das espécies. Já para as classes de altura, a função normal (Gauss) teve melhor representatividade, sendo, portanto, a mais indicada para modelagem da distribuição de altura na área. Recomenda-se o uso dessa abordagem para outras regiões do bioma Amazônia para identificar se o comportamento apresenta-se de maneira semelhante.

A modelagem das variáveis altura comercial e diâmetro de espécies amazônicas, mediante a utilização de funções de densidade de probabilidade, consiste em uma importante contribuição para a literatura que envolve o bioma, além de subsidiar as atividades de exploração e monitoramento das principais espécies comerciais de forma individual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, E. C. R., Scolforo, J. R. S., Oliveira, A. D., Mello, J. M., & Kanegae Júnior, H. (2002). Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. *Scientia Forestalis*, 61, 86-102.
- Bartoszeck, A. C. S., Machado, S. A., Figueiredo Filho, A., & Oliveira, E. B. (2004). Distribuição diamétrica para bracingais em diferentes idades, sítios e densidades da região metropolitana de Curitiba. *Revista Floresta*, 34, 305-324.
- Bila, J. M., Sanquetta, C. R., Dalla Corte, A. P., & Freitas, L. J. M. (2018). Distribuição diamétrica e principais espécies arbóreas presentes nos ecossistemas de Miombo, Mopane e Mecrusse em Moçambique. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 38, 2-7. <http://dx.doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201701523>.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente – MMA. (2008). *Manejo florestal sustentável*. Recuperado em 8 de março de 2022, de <http://www.mma.gov.br/florestas/manejoflorestalsustent%C3%A1vel/produosadeireiros-e-n%C3%A3o-madeireiros>
- Callegaro, R. M., Longhi, S. J., Araujo, A. C. B., Kanieski, M. R., Floss, P. A., & Gracioli, C. R. (2012). Estrutura do componente arbóreo de uma floresta estacional decidual ripária em Jaguari, RS. *Ciência Rural*, 42(2), 305-311. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012000200019>.
- Ciarnoschi, L. D., Orso, G. A., Cerqueira, C. L., Pelissari, A. L., Péllico Netto, S., & Oliveira, M. V. N. (2019). Modelagem da distribuição diamétrica de três espécies da região amazônica. *Advances in Forestry Science*, 6(3), 731-736. <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v6i3.7655>.
- Cruz, L. L., Nakajima, N. Y., Silva, R. M. D., Hosokawa, R. T., Jardim, F. C. D. S., & Corte, A. P. D. (2021). Distribuição diamétrica de três espécies de Lecythidaceae após exploração de impacto reduzido na Amazônia Oriental. *Ciência Florestal*, 31(1), 171-190. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509836011>.
- Cysneiros, V. C., Pelissari, A. L., Machado, S. D., Figueiredo Filho, A., & Souza, L. (2017). Modelos genéricos e específicos para estimativa do volume comercial em uma floresta sob concessão na Amazônia. *Scientia Forestalis*, 45(114), 295-304. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n114.06>.

- Dalla Lana, M., Brandão, C. F. L. S., Pellico Netto, S., Marangon, L. C., & Retslaff, F. A. S. (2013). Distribuição diamétrica de *Eschweilera ovata* em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa - Igarassu, PE. *Floresta*, 43(1), 59-68. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v43i1.25252>.
- Ferreira, J. C. S. (2011). *Análise da estrutura diamétrica em povoamentos de florestas plantadas a partir de funções de densidade de probabilidade* (Dissertação de mestrado). Curso de Ciência Florestal, Universidade de Brasília, Brasília.
- Guilherme, S. S., Ataíde, D. H. S., Silva, L. C., Rocha, P. V., Curto, R. A., & Araújo, E. J. G. (2020). Aderência de funções densidade de probabilidade em diferentes amplitudes de classes diamétricas. *Biofix Scientific Journal*, 5(2), 239-245. <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v5i2.71815>.
- Hess, A. F., Calgarotto, A. R., Pinheiro, R., & Wanginiak, T. C. R. (2010). Proposta de manejo de *Araucaria angustifolia* utilizando o quociente de Liocourt e análise de incremento, em propriedade rural no Município de Lages, SC. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 30(64), 337-345. <http://dx.doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.337>.
- Jardim Botânico do Rio de Janeiro - JBRJ. Centro Nacional de Conservação da Flora - CNCFlora. (2023). *Hymenaea parvifolia*. In Jardim Botânico do Rio de Janeiro - JBRJ (Ed.), *Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2*. Recuperado em 8 de fevereiro de 2023, de [http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Hymenaea parvifolia](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Hymenaea%20parvifolia)
- Khudri, M. M., & Sadia, F. (2013). Determination of the best fit probability distribution for annual extreme precipitation in Bangladesh. *European Journal of Scientific Research*, 103, 391-404.
- Lanssanova, L. R., Silva, F. A., Schons, C. T., & Pereira, A. C. D. S. (2018). Comparação entre diferentes métodos para estimativa volumétrica de espécies comerciais da Amazônia. *BIOFIX Scientific Journal*, 3(1), 109-115. <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i1.57489>.
- Lima, J. P. C., & Leão, J. R. A. (2013). Dinâmica de crescimento e distribuição diamétrica de fragmentos de florestas nativa e plantada na Amazônia Sul Ocidental. *Floresta e Ambiente*, 20(1), 70-79. <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2012.065>.
- Longo, A. J., Sampaio, S. C., Queiroz, M. M. F., & Sussek, M. (2006). Uso das distribuições Gamma e Log-normal na estimativa de precipitação provável quinzenal. *Varia Scientia*, 6, 107-118.
- Machado, S. A., & Figueiredo Filho, A. (2006). *Dendrometria* (2ª ed., 309 p.). Guarapuava: UNICENTRO.
- Machado, S. A., Augustynczyk, A. L. D., Nascimento, R. G. M., Téó, S. J., Miguel, E. P., Figura, M. A., & Silva, L. C. R. D. (2009). Funções de distribuição diamétrica em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. *Ciência Rural*, 39(8), 2428-2434. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009000800024>.
- Maraschin Junior, D. A., Finger, A. F., & Loreto, A. B. (2017). Definição intervalar e análise de qualidade da função densidade de probabilidade da variável aleatória contínua com distribuição Beta. *Scientia Plena*, 13(4), 1-10. <http://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2017.049904>.
- Miguel, E. P., Machado, S. A., Figueiredo Filho, A., & Arce, J. E. (2010). Using the Weibull function for prognosis of yield by diameter class in *Eucalyptus urophylla* satnds. *Cerne*, 16(1), 94-104. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602010000100011>.
- Oliveira, A. N., Amaral, I. L., Ramos, M. B. P., Nobre, A. D., Couto, L. B., & Sahdo, R. M. (2008). Composição e diversidade florística estrutural de um hectare de floresta densa de terra firme na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 38(4), 627-642. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672008000400005>.
- Oliveira, M. F. (2020). *Padrão de crescimento, estrutura e modelagem de seis espécies madeireiras da floresta Amazônica, em diferentes locais na região Norte do estado de Mato Grosso, Brasil* (Tese de doutorado). Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Pulz, F. A., Scolforo, J. R., Oliveira, A. D., Mello, J. M., & Oliveira Filho, A. T. (1999). Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequiânea com a matriz de transição. *Cerne*, 5, 1-14.
- Reis, L. P., Ruschel, A. R., Silva, J. N. M., Reis, P. C. M., Carvalho, J. O. P., & Soares, M. H. M. (2014). Dinâmica da distribuição diamétrica de algumas espécies de Sapotaceae após exploração florestal na Amazônia Oriental. *Revista de Ciências Agrárias*, 57(3), 234-243. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.ao1401>.
- Reis, L. P., Souza, A. L., Reis, P. C. M., Mazzei, L., Binoti, D. H. B., & Leite, H. G. (2018). Prognose da distribuição diamétrica na Amazônia utilizando redes neurais artificiais e autômatos celulares. *Floresta*, 48(1), 93-102. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v48i1.52748>.
- Santos, R. O., Abreu, J. C., Lima, R. B., Aparício, P. S., Sotta, E. D., & Lima, R. C. (2016). Distribuição diamétrica de uma comunidade arbórea na Floresta Estadual do Amapá, Brasil. *Biota Amazônia*, 6(2), 24-31. <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v6n2p24-31>.
- Scolforo, J. R. S. (2006). *Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal* (393 p.). Lavras: UFLA/FAEPE.

- Scolforo, J. R. S., Pulz, F. A., & Melo, J. M. (1998). Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e análise estrutural. In J. R. S. Scolforo (Ed.), *Manejo florestal* (20ª ed., pp. 189-206). Lavras: UFLA/FAEPE.
- Silva Santos, D. W., & Stepka, T. F. (2021). Modelagem da distribuição diamétrica de cinco espécies comerciais nativas da Amazônia, no Estado do Pará. In R. J. Oliveira (Ed.), *Silvicultura e manejo florestal: técnicas de utilização e conservação da natureza* (pp. 259-268). São Paulo: Editora Científica Digital.. <http://dx.doi.org/10.37885/201202653>.
- Silva, A. A., Santos, L. E., Cruz, G. S., Ribeiro, R. B. S., & Gama, J. R. V. (2018). Potencial de comercialização de produtos florestais não madeireiros na área de manejo da Reserva Extrativista Tapajós Arapiuns. *Acta Tecnológica*, 13(1), 45-63. <http://dx.doi.org/10.35818/acta.v13i1.600>.
- Silva, E. Q. (2003). *Nova função densidade de probabilidade aplicável à Ciência Florestal* (Tese de doutorado). Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Silva, G. F. D., Curto, R. D. A., Soares, C. P. B., & Piassi, L. D. C. (2012). Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais. *Revista Árvore*, 36(2), 341-348. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622012000200015>.
- Souza, A. L., & Souza, D. R. (2004). Estratificação vertical em floresta ombrófila densa de terra firme não explorada, Amazônia Oriental. *Revista Árvore*, 28(5), 691-698. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000500008>.
- Souza, C. A. M. (2007). *Avaliação de modelos de taper não segmentados e segmentados na estimação da altura e volume comercial de fustes de Eucalyptus sp.* (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre.
- Souza, R. F., Nascimento, R. G. M., Pellico Netto, S., & Machado, S. A. (2013). Efeito de idade e sítio no ajuste de funções probabilísticas para altura de *Mimosa scabrella*. *Floresta*, 43(2), 271-280. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v43i2.25290>.
- Stepka, T. F., Lisboa, G. S., & Kurchaidt, S. M. (2011). Funções densidade de probabilidade para a estimativa da distribuição diamétrica em povoamento de *Eucalyptus* sp. na região centro-sul do Paraná. *Ambiência*, 7(3), 429-439. <http://dx.doi.org/10.5777/ambiencia.2011.03.02>.
- Sturges, H. (1926). The choice of a class-interval. *Journal of the American Statistical Association*, 21(153), 65-66. <http://dx.doi.org/10.1080/01621459.1926.10502161>.
- Téo, S. J., Rocha, S. P., Bortoncello, A. C., Paz, R. A., & Costa, R. H. (2011). Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda*, na região de Caçador, SC. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 2011(67), 183-192. <http://dx.doi.org/10.4336/2011.pfb.31.67.183>.

Contribuição dos Autores: DWSS: Conceitualização, Metodologia, Software, Pesquisa, Redação do manuscrito original; TFS: Conceitualização, Metodologia, Pesquisa, Redação - revisão e edição; AFH: Metodologia, Pesquisa, Redação - revisão e edição.