



MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DE *Hevea guianensis* Aubl. NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS, AMAZÔNIA, BRASIL

Karla Mayara Almada Gomes¹, Antonio Pedro Fragoso Woycikievicz¹, Carla Talita Pertille¹
, Ana Paula Souza Ferreira¹, Girlene da Silva Cruz¹, Iaci Dandara Santos Brasil¹,
Afonso Figueiredo Filho²

1 Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: karlaalmada@ufpr.br; antoniof.w@gmail.com; carla.pertille@ufpr.br; anapaulaferreira386@gmail.com; girlene.lenecruz@gmail.com; iacidandara@gmail.com
2 Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR, Brasil. E-mail: afigfilho@gmail.com
Autor correspondente: Antonio Pedro Fragoso Woycikievicz. E-mail: antoniof.w@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a distribuição de diâmetros de seringueiras plantados localizados na Floresta Nacional do Tapajós, buscando identificar qual função de densidade probabilística expressa melhor o comportamento de *Hevea guianensis* Aubl. Foram realizados inventários, incluindo todas as seringueiras com diâmetro a 1,30m do solo ≥ 5 cm, nos anos de 2013 e 2018, em que foram registradas densidades de 97,8 e 94,8 árvores ha^{-1} , respectivamente. Para o conjunto de dados foram ajustadas seis funções de densidade probabilística. A distribuição diamétrica dos seringueiras avaliados é característica de plantios florestais, com tendência à normalidade, porém não se encaixa como as plantações de seringueiras nativos tradicionais da Amazônia ou plantações convencionais. Dentre as funções de densidade probabilísticas ajustadas, a de Quadros apresentou melhor desempenho.

Palavras-chave: Função de densidade probabilística; plantio; seringueira

DIAMETRIC DISTRIBUTION MODELING OF *Hevea guianensis* Aubl. IN THE TAPAJOS NATIONAL FOREST, AMAZON, BRAZIL

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the distribution of diameters of rubber trees located in the Tapajos National Forest, seeking to identify which probabilistic density function expresses the behavior of *Hevea guianensis* Aubl. Forest Inventories were carried out, including all rubber trees with a diameter 1.30m from the ground ≥ 5 cm, in 2013 and 2018, in which densities of 97.8 and 94.8 trees. ha^{-1} , respectively, were recorded. Six probabilistic density functions were fitted to the data set. The diametric distribution of the evaluated rubber plantations is characteristic of forest plantations, with a tendency towards normality, but it does not fit like the traditional native rubber plantations of the Amazon or conventional plantations. Among the adjusted probabilistic density functions, Quadros presented the best performance.

Key words: Probabilistic density function; planting; rubber tree

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

Hevea brasiliensis, comumente conhecida como seringueira no Pará, é uma das espécies mais importantes economicamente pela produção do látex, seu principal produto (Iwakiri *et al.*, 2017), além do grande potencial não madeireiro (Nogueira *et al.*, 2015).

Diante disso, é de suma importância garantir que o manejo florestal sustentável seja aplicado corretamente, visando a exploração racional dos recursos naturais e a manutenção dos benefícios econômicos, sociais e ambientais (Ciarnoschi *et al.*, 2017). Uma ferramenta eficiente para o manejo adequado das espécies florestais é a distribuição diamétrica, por fornecer subsídios para a compreensão dos processos com comunidades arbóreas (Ciarnoschi *et al.*, 2017) e pela aplicação de funções de densidade de probabilidade para predizer o comportamento da frequência de indivíduos por classes de diâmetro (Silva *et al.*, 2003).

Nesse sentido, esse trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição de diâmetros de seringais localizados na Floresta Nacional do Tapajós, buscando identificar qual função de densidade probabilística melhor expressa o comportamento dos seringais.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada na Floresta Nacional do Tapajós, no município de Belterra, no Pará, compreendendo os seringais de Terra Rica e do Ponte, com 27,41 e 2,90 hectares de extensão, respectivamente.

Os seringais, embora plantados, não tem características predominantes de florestas equiâneas, como padrão de espaçamento, mesma origem genética, conferindo-lhes maior heterogeneidade (Gomes *et al.*, 2021).

A região apresenta clima, pela classificação de Köppen, do tipo Ami, tropical úmido com variação térmica anual inferior a 5° C e com temperatura média anual de 25.5°C, precipitação pluviométrica de 1.820 mm e umidade relativa média por volta de 90% (Alvares *et al.*, 2013). A vegetação é caracterizada como Floresta Ombrófila Densa, com predomínio de espécies de grande porte e pela presença de lianas lenhosas, palmeiras e epífitas (Andrade *et al.*, 2015).

Foram realizados dois inventários, um em 2013 e o outro em 2018, com a inclusão de todas as seringueiras com diâmetro a 1,30 m do solo ($D \geq 5$ cm). Tal critério resultou na mensuração de 2.965 e 2.872 árvores, indicando uma densidade de 97,8 e 94,8 árvores.ha⁻¹, respectivamente.

Os dados foram agrupados em diferentes classes diamétricas com intervalos de 10 cm, em 2 medições durante 5 anos, para o ajuste das funções de densidade probabilística

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Normal, Gama, Beta, LogNormal, Weibull 3P e Quadros (Tabela 1). Foi realizado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov além do cálculo das estatísticas de ajuste e precisão.

Tabela 1. Funções de densidade probalísticas testadas para seringais localizados na Floresta Nacional do Tapajós, estado do Pará, Amazônia, Brasil

Nome	Função de densidade probabilística	Nome	Função de densidade probabilística
Normal	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$	LogNormal	$f(x) = \frac{1}{x(\sqrt{2\pi}\sigma)^2} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2}$
Gama	$f(x) = \frac{\gamma}{(x - x_{min})^{\alpha-1}} e^{-\left(\frac{1}{\beta}\right)(x-x_{min})}$	Weibull 3P	$f(x) = \left(\frac{c}{b}\right) \cdot \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} e^{-\left[\frac{x-a}{b}\right]^c}$
Beta	$f(x) = \left(\frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)}\right) \cdot \left(\frac{1}{(x-x_{min})^{a+b-1}}\right) \cdot (x - x_{min})^{a-1} \cdot (x_{max} - x)^{b-1}$	Quadros (Silva et al., 2003)	$f(x) = 1/k\{c_1 x^d, se 0 < x < l_{-1}, a_{-1} x^n + a_{-2} x^{(n-1)} + a_{-3} x^{(n-2)} + \dots +, se l_{-1} \leq x \leq l_{-2}, c_2/x^h, se x > l_{-2}, 0, e. o. c}$

Em que: $f(x)$ = função densidade de probabilidade da variável x ; x = variável aleatória; x_{min} = valor mínimo de x ; e = constante de Euler (2,7182...); $a, b, c, d, \alpha, \beta, \lambda, \gamma$ = parâmetros a serem estimados; n, d e h são inteiros positivos; $a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$ são números reais; c_1 e c_2 são números reais; k é o valor da integral $\int_0^\infty [c_1 x^d + (a_1 x^n + a_2 x^{n-1} + a_3 x^{n-2} + \dots + a_m) + \frac{c_2}{x^h}] dx$; l_1 = limite superior da classe onde será ajustada a função $c_1 x^d$; l_2 = limite superior da última classe onde o polinômio produz um bom ajuste.

Para o ajuste das funções foi utilizado o método dos mínimos quadrados com múltiplas interações, utilizando os softwares “R” e MS EXCEL 2013. Como critério para eleger a melhor função de densidade, foram verificadas as funções aderentes, considerando o teste de Kolmogorov, e a raiz quadrada do erro médio. Foi realizada ainda a análise gráfica das funções para cada ano, comparando a frequência real com a estimada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 é apresentada a distribuição diamétrica observada para *Hevea guianensis* Aubl., de acordo com o período inventariado. Os plantios apresentaram baixo número de indivíduos nas classes diamétricas inferiores e elevada frequência nas classes intermediárias, com redução acentuada no sentido das maiores classes tanto no ano de 2013 quanto em 2018.

Tabela 2. Distribuição diamétrica observada de *Hevea guianensis* Aubl. por ano inventariado em seringais localizados na Floresta Nacional do Tapajós, estado do Pará, Amazônia, Brasil

Centro de Classe Diamétrica (cm)	Número de árvores (árvores ha ⁻¹)	
	2013	2018
10	1,65	1,19
20	15,31	13,63
30	33,06	30,56
40	29,43	28,77
50	12,64	13,79
60	4,22	5,08
70	1,09	1,22
≥ 80	0,43	0,53
Total	97,84	94,77

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Na Tabela 3, observa-se a aderência das funções de densidade probabilísticas para os plantios de *Hevea guianensis* Aubl. Todas as funções foram aderentes, de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov.

Tabela 3. Coeficientes das funções de densidade probabilística ajustadas para *Hevea guianensis* Aubl. em seringais localizados na Floresta Nacional do Tapajós, estado do Pará, Amazônia, Brasil.

Ano	FDP	RMSE (%)	D'	D calc
2013	Quadros	0,2308	0,1375	0,0004**
	Gama	6,1898		0,0435**
	Weibull	6,8660		0,0641**
	Normal	8,4862		0,0277**
	Beta	8,8180		0,0643**
	LogNormal	11,2937		0,0371**
2018	Quadros	0,4567	0,1397	0,0007**
	Gama	4,9343		0,0124**
	Weibull	6,7519		0,0186**
	Beta	8,1781		0,0236**
	Normal	9,6719		0,0307**
	LogNormal	10,4732		0,0319**

FDP: função de densidade probabilística; RMSE: Raiz quadrada do erro médio, em %; D': valor tabelado do teste de Kolmogorov-Smirnov (α : 0,01); D cal: valor calculado do teste de Kolmogorov-Smirnov; ns: não significativo ao nível de 1% (α : 0,01); **: significativo ao nível de 1% (α : 0,01).

Os ajustes apresentaram, de maneira geral, bom desempenho, e a função de Quadros (Silva *et al.*, 2003) foi a que apresentou o melhor desempenho para os dois anos avaliados, considerando os critérios de ranqueamento. Ela consiste numa função truncada de polinômio de sétimo grau, que foi desenvolvida com o objetivo principal de apresentar novas opções para o ajuste de distribuições de probabilidades que são utilizadas na Ciência Florestal. Na Figura 1 é reforçado esse resultado, ao apresentar as distribuições diamétricas observada e estimada pelas funções de densidade probabilística ajustadas (Tabela 3).

No estudo realizado por Ciarnoschi *et al.* (2017) foram ajustados sete modelos para explicar o comportamento da seringueira, em que é possível observar uma diferença em relação às funções que demonstraram aderência, pois a função Beta não representou bem o comportamento da espécie, contudo, para o presente trabalho, essa função se mostrou aderente, fato que pode estar relacionado à assimetria dos dados de diâmetros, que foi diferente em ambos os estudos. Porém, as funções Normal, LogNormal, Gama e Weibull 3P representaram bem a distribuição, assim como encontrado nesta pesquisa.

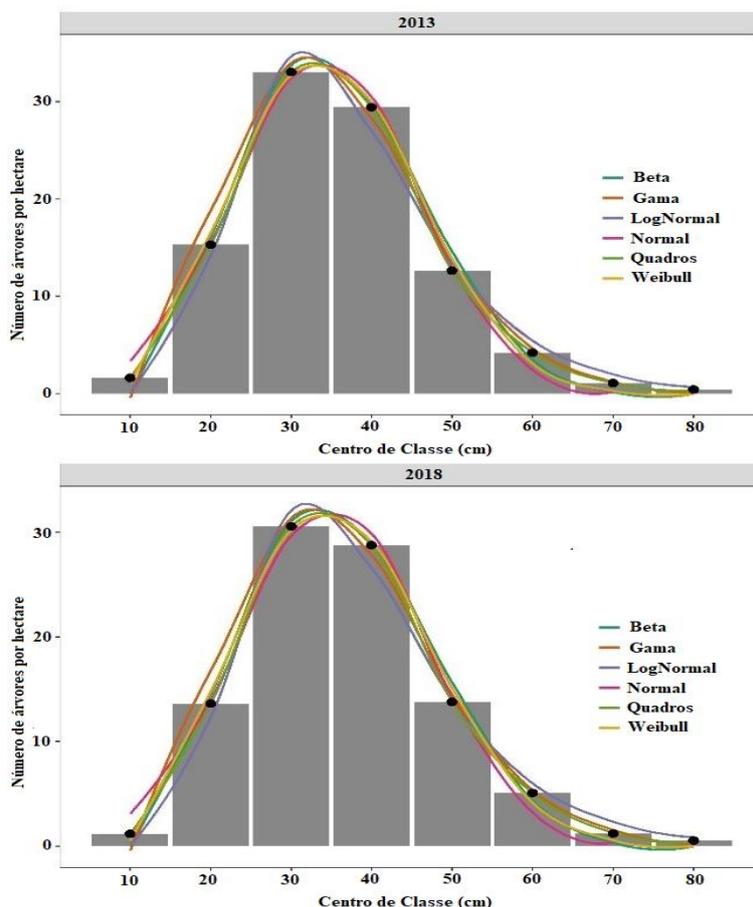


Figura 1. Distribuições diamétricas observadas e estimadas pela função de densidade probabilística de melhor desempenho para *Hevea guianensis* Aubl. em seringais localizados na Floresta Nacional do Tapajós, estado do Pará, Amazônia, Brasil

CONCLUSÃO

A distribuição diamétrica de *Hevea guianensis* Aubl. na Floresta Nacional do Tapajós é característica de plantios florestais, com tendência à normalidade, porém não se encaixa como as plantações de borracha nativas tradicionais da Amazônia ou plantações convencionais. A função densidade probabilística de Quadros apresentou melhor desempenho na representação da distribuição diamétrica nos seringais para os dois anos avaliados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p.711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Andrade, D.F.; Gama, J.R.V.; Melo, L.O.; Ruschel, A.R. Inventário florestal de grandes áreas na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Amazônia, Brasil. *Biota Amazônia*, v. 5, n. 1, p.109-115, 2015. <https://doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n1p109-115>.
- Ciarnoschi, L. D.; Orso, G. A.; Cerqueira, C. L.; Pelissari, A. L.; Péllico Neto, S.; Oliveira, M. V. N. de. Modelagem da distribuição diamétrica de três espécies da região amazônica. *Advances in Forestry Science*, v. 6, n. 3, p.731-736, 2019. <https://doi.org/10.34062/afs.v6i3.7655>.
- Gomes, K. M. A.; Bezerra, T. G.; Santos, L. E.; Gama, J. R. V.; Protásio, T. P. Plantios abandonados de *Hevea guianensis* Aubl. e seu potencial para créditos de carbono na Floresta Nacional do Tapajós. *Revista*

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Forestal Mesoamericana Kurú, v. 18, n. 42, p.1-7, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/kuru/v18n42/2215-2504-kuru-18-42-1.pdf>. Acesso em: 22 Jun. 2023.

Iwakiri, S.; Trianoski, R.; Weber, A. M.; Bonfatti Junior, E. A.; Pereira, G. F.; Bueno, J. A.; Cechin, L.; Raia, R. Z. Effects of particles treatments and cement accelerator admixture in the wood cement panel production. **Floresta**, v. 47, n. 3, p.289-296, 2017. <https://doi.org/10.5380/ufv47i1.51636>.

Nogueira, R. F.; Cordeiro, S. A.; Leite, A. M. P.; Binoti, M. L. M. S. Mercado de borracha natural e viabilidade econômica do cultivo da Seringueira no Brasil. **Nativa**, v. 3, n. 2, p.143-149, 2015. <https://doi.org/10.14583/2318-7670.v03n02a12>.

Silva, E. Q.; Péllico-Netto, S.; Machado, S. A.; Sanquetta, C. R. Função densidade de probabilidade aplicável à ciência florestal. **Floresta**, v. 33, n. 3, p.285-294, 2003. <https://doi.org/10.5380/ufv33i3.2262>.