



Padrão espacial e valor financeiro de populações de copaíba na Flona do Tapajós

Diego dos Santos VIEIRA^{1*}, Bruno Oliveira LAFETÁ²,
Marcio Leles Romarco OLIVEIRA¹, João Ricardo Vasconcellos GAMA³

¹Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, Brasil.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, São João Evangelista, MG, Brasil.

³Instituto de Biodiversidade e Florestas, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, PA, Brasil (*In memoriam*).

*E-mail: diegovieir4@gmail.com

(ORCID: 0000-0003-3780-1189; 0000-0003-2913-6617; 0000-0002-8097-1135; 0000-0002-3629-3437)

Submetido em 24/05/2022; Aceito em 05/12/2022; Publicado em 20/12/2022.

RESUMO: O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a estrutura diamétrica, padrão espacial e potencial econômico da copaíba na Flona Tapajós, estado do Pará. Os dados foram coletados nas áreas A, B, C e D, onde foram medidas apenas árvores com DAP ≥ 30 cm. A estrutura diamétrica e o padrão espacial foram analisados por meio de histogramas e da função K de Ripley, respectivamente. O valor econômico foi calculado por meio da multiplicação da abundância de árvores, produtividade e preço. As abundâncias foram baixas, mas iguais entre as áreas. As estruturas diamétricas exibiram tendência normal, enquanto o padrão espacial foi aleatório. O valor econômico das áreas teve alta variação. As maiores receitas foram estimadas quando a simulação de venda do óleo-resina foi realizada para Altamira, a saber: A - R\$ 3.173,83; B - R\$ 2.333,70; C - R\$ 5.414,18 e D - R\$ 6.160,97. A considerar todas as áreas seria possível obter receitas totais de R\$ 17.082,68, R\$ 12.757,66, R\$ 5.933,59, R\$ 12.812,56, R\$ 12.132,90 para Altamira, Belém, Breves, Gurupá e Santarém, respectivamente. O potencial econômico foi baixo, por isso recomenda-se que os extrativistas se organizem em cooperativas para melhorar o poder de barganha no mercado, receber melhores preços e, conseqüentemente, aumentar os lucros.

Palavras-chave: distribuição diamétrica; potencial econômico; óleo-resina; *Copaifera* sp.

Spatial pattern and economic value of populations of copaíba in Flona Tapajós, Pará

ABSTRACT: The objective of this research was to evaluate the diametric structure, spatial pattern, and economic potential of copaíba in the Tapajós Flona, Pará State. Data were collected in areas A, B, C and D, where only trees with DBH ≥ 30 cm were measured. Diametric structure and spatial pattern were analyzed using histograms and Ripley's K function, respectively. Economic value was calculated by multiplying tree abundance, productivity, and price. Abundances were low but equal among areas. Diametric structures showed a normal trend, while the spatial pattern was random. The economic value of the areas had high variation. The highest revenues were estimated when the oil-resin sales simulation was performed for Altamira, namely: A - R\$ 3,173.83; B - R\$ 2,333.70; C - R\$ 5,414.18 and D - R\$ 6,160.97. Considering all the areas it would be possible to obtain total revenues of R\$ 17,082.68, R\$ 12,757.66, R\$ 5,933.59, R\$ 12,812.56, R\$ 12,132.90 for Altamira, Belém, Breves, Gurupá and Santarém, respectively. The economic potential was low, so it is recommended that extractivists organize into cooperatives to improve bargaining power in the market, receive better prices and consequently increase profits.

Keywords: diametric distribution; economic potential; oil-resin; *Copaifera* sp.

1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais são formadas de espécies arbóreas que proveem diversos benefícios econômicos. Os que usufruem desses benefícios, geralmente enfatizam os produtos madeireiros e com raras exceções, os não madeireiros, como raízes, cascas, sementes e óleo-resina. Esses produtos muitas vezes são desvalorizados economicamente por várias razões, principalmente por sua baixa oferta, mas exibem versatilidade e variabilidade quanto ao emprego, que vão desde o alimentício, cosmético ao fitoterápico (KLAUBERG et al., 2016; GUIMARÃES et al., 2018). Além disso, são matéria-prima de muitas indústrias, movimentando mercados regionais, internacionais e aumentando a renda mensal de populações tradicionais na

Amazônia (PINHEIRO et al., 2019). Além dos benefícios econômicos e sociais, possui também o ambiental, proporcionando a conservação da biodiversidade florestal, solo, água e clima (KLAUBERG et al., 2016; GUIMARÃES et al., 2019).

A copaíba - *Copaifera* sp. - é uma das espécies florestais não madeireiras mais importante no cenário nacional e internacional (VASCONCELOS et al., 2020). Mas, o paradoxo de qualquer produto não madeireiro é caracterizado pela discrepância entre sua aparente abundância e a dificuldade de executar uma colheita que seja econômica e ecologicamente sustentável. Avaliações pioneiras demonstraram altas densidades de recursos vegetais com valor de utilidade, mas não levaram em conta os muitos

fatores ecológicos, sociais e econômicos que, em conjunto, determinam o potencial para utilização comerciais sustentáveis na Amazônia. As restrições ecológicas incluem a abundância, distribuição diamétrica e padrão espacial, enquanto as socioeconômicas incluem a acessibilidade física do recurso pelos extrativistas, potencialidade econômica, oportunidades de colheita e características dos mercados locais (NEWTON et al., 2012b).

A abundância de árvores em um determinado local é um fator importante a ser considerado, pois pode refletir várias características, a saber: estratégia de vida da espécie, preferência por um ou outro habitat e quantificação do recurso não madeireiro, o que conseqüentemente permite a avaliação da viabilidade da colheita e a definição do potencial econômico (HERRERO-JÁUREGUI et al., 2012; NEVES et al., 2016). Mas, somente a abundância não é suficiente para determinar todos essas características, é necessário complementar a análise com outros parâmetros, como a distribuição diamétrica e padrão espacial das árvores de uma população. Apesar dos fatores que controlam esses parâmetros variarem em diferentes florestas (competição, processo de regeneração, perturbações e condições ambientais), eles podem sugerir princípios gerais subjacentes (HERRERO-JÁUREGUI et al., 2012). Por exemplo, distribuições diamétricas com poucas árvores nas classes de diâmetro iniciais indicam problemas de regeneração natural, cujo motivos podem ser antrópicos ou naturais.

Essa constatação sugeriria a necessidade de criação de estratégias de manutenção, recuperação e conservação da espécie, de maneira que a população não sofra grandes distúrbios ecológicos. Em casos de áreas que historicamente o produto não madeireiro foi colhido, esse comportamento poderia indicar altos níveis de coleta de semente. Por outro lado, padrões espaciais auxiliam na determinação de árvores matrizes, no planejamento de inventários florestais e colheita de produtos não madeireiros, minimizando os custos de locomoção de equipamentos e frente de trabalho. Por exemplo, árvores distribuídas de forma agregada facilita sua localização e a coleta e transporte de produtos não madeireiros, pois essas atividades seriam concentradas nos aglomerados. Em contrapartida, a aleatoriedade tornaria essas atividades dispersas, dificultando a logística e maximizando os custos operacionais. Além desses dois parâmetros, a avaliação do potencial econômico dos PFNMs também é uma importante ferramenta para o bom manejo florestal (PINHEIRO et al., 2019; SILVA et al., 2021).

A avaliação do potencial financeiro permite a previsão de receitas possíveis de serem obtidos com o comércio dos PFNMs e gera coeficientes técnicos para análise da viabilidade econômica do manejo de PFNMs (PINHEIRO et al., 2019). Assim, pode-se afirmar que o conhecimento da abundância, distribuição diamétrica, padrão espacial e potencial financeiro são fundamentais para o manejo florestal sustentável, tanto do ponto de vista ecológico quanto econômico. A partir desse contexto, o objetivo desse estudo foi avaliar a estrutura diamétrica, padrão espacial e o potencial financeiro de quatro populações de copaíba na Floresta Nacional do Tapajós. Quatro hipóteses nortearam essa pesquisa, a saber: hipóteses nulas, as populações apresentam baixa abundância, estruturas diamétricas em J-invertido, padrões espaciais aleatórios e elevado potencial econômico; hipótese alternativa, rejeita-se as hipóteses nulas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado em quatro áreas de floresta nativa inexplorada localizadas na Floresta Nacional de Tapajós, nos domínios do município de Belterra, estado de Pará (Figura 1). As áreas A, B, C e D possuem 600, 400, 1.000 e 1.486 hectares, respectivamente. O clima da região, de acordo com a classificação Köppen, é do tipo Ami. A temperatura e a precipitação anuais são de 25,5 °C e 1.820 mm, respectivamente (ALVARES et al., 2013). O relevo é ligeiramente acidentado e apresenta uma topografia variando de amena a ondulada. O solo predominante é o Latossolo Amarelo. A vegetação dominante é a Floresta Ombrófila Densa, caracterizada pelo domínio de árvores de grande porte e pela abundância de cipós lenhosos, palmeiras e epífitas.

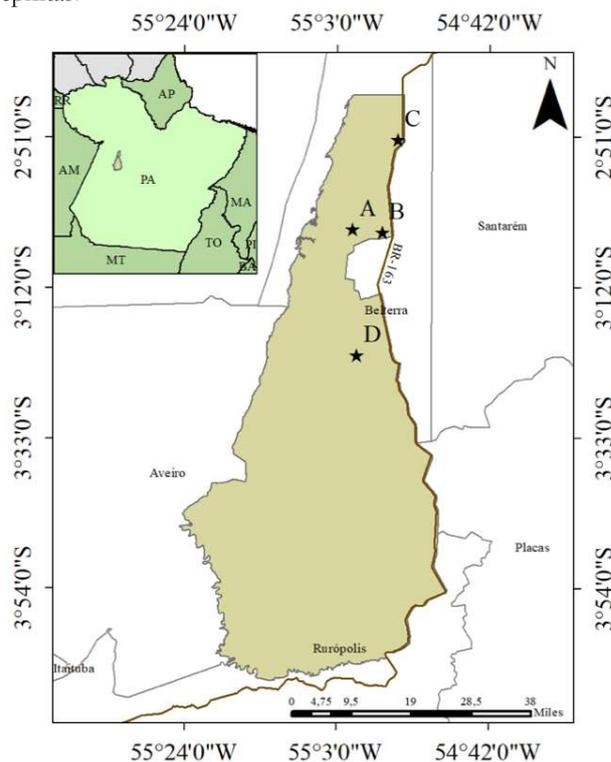


Figura 1. Localização das áreas A, B, C e D na Floresta Nacional do Tapajós, oeste do estado do Pará.

Figure 1. Location of areas A, B, C and D in the Tapajós National Forest, western Pará state.

2.2. Coleta de dados

Os dados foram coletados por meio de um censo florestal, com mapeamento, em coordenadas cartesianas, de todas as árvores de *Copaifera* sp. (copaíba) com diâmetro a 1,30 m do solo igual ou superior a 30 cm ($DAP \geq 30$ cm). Todas as áreas foram divididas em subáreas, nas quais foram abertas picadas paralelas na direção N-S, distantes 50 m entre elas. Em cada picada foram instaladas balizas a cada 25 m, com a respectiva metragem em relação à origem, para posterior registro da coordenada Y das árvores. A coordenada X árvores foi obtida por meio da distância entre a árvore e a respectiva linha da picada. Ao final de cada picada, movia-se para a seguinte e executava-se a mesma rotina de trabalho, e assim sucessivamente, até completar a última picada. As informações coletadas foram o DAP e a altura comercial (Hc), além das coordenadas X e Y.

2.3. Análise de dados

O número de árvores por hectare ($N \text{ ha}^{-1}$) e média aritmética do DAP (\bar{D}) foram calculados para as áreas A, B, C e D. Essas variáveis foram submetidas à prova de Scott-Knott, a 95% de probabilidade, para avaliar a existência de diferenças significativas. A distribuição diamétrica foi avaliada por meio de histogramas, os quais foram construídos para intervalos de 10 cm. A prova F de Graybill foi usada para compará-las. Ademais, foram ajustadas duas funções de densidade probabilística (FDP), a saber: Normal e Exponencial. A aderência das FDPs à distribuição de diâmetros foi avaliada por meio da prova de F de Graybill. Os parâmetros das funções foram obtidos pelo método da máxima verossimilhança. O método de otimização usado foi o Nelder-Mead.

O padrão espacial foi determinado pela função $K(s)$ de Ripley (RIPLEY, 1977). Essa função foi calculada para um círculo com raio (r) de 25 m centrado em cada árvore, em que o número de vizinhos presentes na área desse círculo foi contado. Variando o raio s a uma distância máxima, detectou-se o padrão espacial da espécie em diferentes escalas de distância. A distância máxima considerada foi a metade do maior eixo das áreas. Alguns casos particulares ocorreram quando as árvores estavam próximas às bordas da área, uma vez que, por ser a função K acumulativa e computar todas as distâncias entre todos os eventos, as árvores próximas à borda de raio s maior que o limite do mapa não poderiam ser interpretados como se não houvesse vizinhos.

Os vizinhos existiam, mas por estarem fora dos limites da área não foram computados. Consequentemente, o número de árvores vizinhas a árvores próximas aos limites do mapa seria mais baixo do que para as demais, ocasionando um viés no cálculo do estimador da função $K(r)$ de Ripley. À vista disso, utilizou-se o estimador da função $K(s)$ com correção isotrópica de bordadura (Equação 1) (RIPLEY, 1977).

$$K(r) = \frac{1}{\hat{\lambda}_n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{1}{W_i} (x_i, x_j) I(\|x_i - x_j\| < s) \quad (01)$$

em que: n = número de árvores na área; X_i e X_j são as coordenadas dos pontos; $\|X_i - X_j\|$ = distância euclidiana entre a localização X_i e X_j ; r = vetor arbitrário de distância; $W_i I(X_i, X_j)$ = função de correção para efeito de borda, que representa a proporção da circunferência com centro em X_i e com raio $\|X_i - X_j\|$ que está fora da área; $\hat{\lambda}_n = n/|A|$ = número de árvores dividido pela área do castanhal, sendo um estimador não viciado da intensidade do processo; e $I(U)$ = função indicadora que assume valor 1 sempre que a condição U for verdadeira e zero quando for falsa.

Além disso, foram construídos envelopes de confiança por meio de 1.000 simulações Monte Carlo, sob a hipótese de completa aleatoriedade espacial (CAE). Em seguida, foi calculada a função $K(r)$ para os resultados das simulações, armazenando-se os valores mínimos e máximos da estimativa de $K(r)$, utilizados para gerar intervalos de confiança, a 99% de probabilidade. Os valores de $K(r)$ foram transformados para $L(r)$, de acordo com a equação abaixo (Equação 2) e distribuídos em função das distâncias s acumuladas (RIPLEY, 1977).

$$L(r) = \sqrt{\frac{K(s)}{\pi}} - r \quad (02)$$

em que: $K(r)$ = vetor de valores da função $K(r)$; e r = vetor arbitrário de distância.

O envelope de confiança, formado por duas linhas limites pontilhadas, uma positiva e outra negativa, permitiu avaliar o padrão espacial. Se os valores observados de $L(r)$, identificados por uma linha contínua, estiverem dentro do envelope construído, o padrão espacial é aleatório, caso contrário rejeita-se a hipótese nula de CAE e assume-se que padrão espacial é agregado, quando passar do limite superior do envelope, e regular, quando passar do limite inferior (RIPLEY, 1977).

Na Flona Tapajós a copaíba não é derrubada, portanto a valoração foi realizada apenas para o óleo-resina. O valor monetário para a primeira coleta de óleo-resina da copaíba foi calculado com base na metodologia descrita na Instrução Normativa N° 8/GABIN/ICMBIO, de 28 de setembro de 2021 (Equação 3) Nesse caso, considerou-se 40% das árvores com DAP ≥ 35 cm. As demais, 60%, foram consideradas improdutivas ou com presença de oco. Esses percentuais foram calculados por meio da média dos percentuais de outras pesquisas científicas realizadas na Amazônia (NEWTON et al., 2011; NEWTON et al., 2012b; MARTINS et al., 2013; GEBARA et al., 2016). A produtividade de óleo-resina considerada foi de 0,60 L árvore⁻¹ (NEWTON et al., 2011).

$$VM_{PFNM} = N \times PA \times PC \quad (03)$$

em que: VM_{PFNM} = valor monetário do produto florestal não madeireiro, em reais; N = número absoluto de árvores produtoras de óleo-resina; PA = produtividade média por árvore, em litros; e PC = preço do óleo-resina, em R\$ L⁻¹.

Os preços (R\$ L⁻¹) foram obtidos a partir da Lista de Preços de Produtos da Floresta do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, de abril de 2021. Os valores foram atualizados por meio do Índice Nacional de Preço ao Consumidor Amplo (IPCA) de 01/2011 até o mês anterior à valoração (01/2022). Nesse caso, foram considerados os preços dos municípios de Altamira - PA (R\$ 155,58 L⁻¹), Belém - PA (R\$ 116,69 L⁻¹), Breves - PA (R\$ 54,045 L⁻¹), Gurupá - PA (R\$ 116,69 L⁻¹) e Santarém - PA (R\$ 110,50 L⁻¹).

3. RESULTADOS

As áreas A, B, C e D apresentaram 0,14, 0,15, 0,14 e 0,11 árvores ha⁻¹, respectivamente (Tabela 1). A maior e menor média aritmética do diâmetro (\bar{D}) foi anotada para as áreas D e B, as quais apresentaram 66,2 cm e 55,2 cm, respectivamente. A área D registrou ainda a árvore de maior diâmetro (108,2 cm). As médias do número de árvores (N) foram iguais ($p > 0,05$), mas as diferenças nas médias de diâmetro (\bar{D}) foram significativas ($p < 0,05$), a área B apresentou valor de \bar{D} menor que as demais (Tabela 1). Isso mostra que, localmente não existe variação significativa na abundância de árvores de copaíba, porém a média de diâmetro variou entre locais.

As estruturas diamétricas apresentaram tendência à normalidade, isto é, baixo número de árvores nas classes de diâmetro menores e elevada densidade nas classes intermediárias, com redução acentuada no sentido das maiores classes (Figura 2). Essa tendência foi corroborada pela aderência da função Normal à estrutura diamétrica de todas as áreas, pois os valores de D_{CALC} foram menores que os de D_{TAB} , a 95% de probabilidade. A função Exponencial

não aderiu a nenhuma das estruturas diamétricas ($D_{CALC} > D_{TAB}$). Ainda que as tendências tenham sido semelhantes, a estrutura diamétrica da área D foi diferente ($p > 0,05$) daquelas calculadas para as áreas B e C (Tabela 2). A área A foi significativamente igual ($p > 0,05$) a todas as áreas.

Tabela1. Abundância e média aritmética dos diâmetros de quatro populações de copaíba na Flona Tapajós, Pará.
Table1. Abundance and arithmetic mean of diameters of four copaiba populations in Flona Tapajós, Pará.

Estadísticas	N (ha ⁻¹)	\bar{D} (cm)
A	0,14 ± 0,05 a	61,9 ± 16,2 a
B	0,15 ± 0,02 a	55,2 ± 13,3 b
C	0,14 ± 0,07 a	60,6 ± 14,5 a
D	0,11 ± 0,04 a	66,2 ± 15,7 a

em que: N = número de árvores, em hectare; e \bar{D} = média aritmética dos diâmetros à 1,30 m do solo. * médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Scott-Knott, $p > 0,05$).

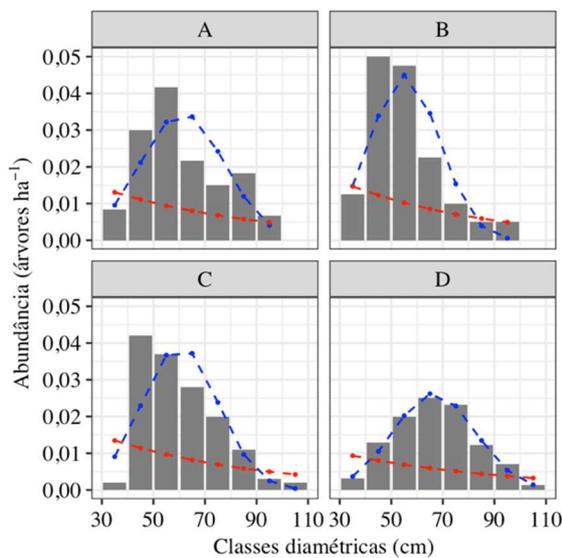


Figura 2. Estrutura diamétrica e funções de densidade probabilística das populações de copaíba na Flona Tapajós, Para. As linhas azuis e vermelhas representam as funções normal e exponencial, respectivamente.

Figure 2. Diametric structure and probability density functions of copaiba populations in Flona Tapajós, Para. The blue and red lines represent the normal and exponential functions, respectively.

Tabela 2. Teste F de Graybill para as distribuições diamétricas das populações copaíba na Flona Tapajós, Pará.

Table 2. Graybill's F test for the diameter distributions of copaiba populations in Flona Tapajós, Pará.

Áreas	A	B	C	D
A	-			
B	0,73 [ns]	-		
C	0,10 [ns]	1,73 [ns]	-	
D	5,52 [†]	12,6 [†]	9,32 [†]	-

em que: [†] e [ns] = diferenças significativas e não significativas, a 95% de probabilidade, respectivamente.

As árvores de copaíba nas áreas A, B e D apresentaram-se distribuídas de forma completamente aleatória (Figura 3). Nessas áreas, a função K de Ripley mostrou que a hipótese de aleatoriedade foi aceita, a 99% de probabilidade, pois os valores de K mantiveram-se dentro da região de completa aleatoriedade espacial (CAE). A área C não teve todos os valores de K dentro da região CAE, mostrando que o padrão

espacial variou em função da distância s. Nesse caso, as árvores apresentaram distribuição aleatória para distâncias menores que ± 325 m, passando para leve agregação até ± 650 m, e a partir daí a distribuição dessas árvores foi aleatória.

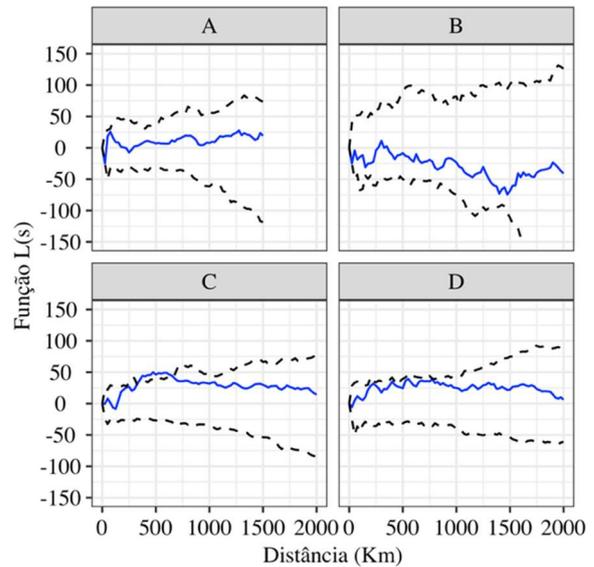


Figura 3. Função K(s) de Ripley para as populações de copaíba na Flona Tapajós, Pará. As linhas azuis contínuas e pretas tracejadas representam a função K e o envelope de completa aleatoriedade espacial.

Figure 3. Ripley's K(s) function for copaiba populations in Flona Tapajós, Pará. The solid blue and black dashed lines represent the K function and the envelope of complete spatial randomness.

A produção de óleo-resina estimada variou de 16,3 a 42,9 litros. A maior produção foi registrada para a área D. A expectativa de renda com a venda óleo-resina de copaíba entre os municípios teve alta variação. Em todas as áreas, a maior expectativa de renda foi obtida quando o preço considerado foi o de Altamira, seguida dos municípios de Gurupá, Belém, Santarém e Breves. A área D, por exemplo, com 66 árvores e produtividade de 0,6 L árvore⁻¹, apresentou receita anual de R\$ 6.160,97, R\$ 4.601,12, R\$ 2.139,98, R\$ 4.620,92 e R\$ 4.375,80 para Altamira, Belém, Breves, Gurupá e Santarém, respectivamente (Tabela 3). A expectativa de renda para esses mesmos municípios, respectivamente, se todas as populações de copaíba fossem coletadas, seria R\$ 17.082,68, R\$ 12.757,66, R\$ 5.933,59, R\$ 12.812,56 e R\$ 12.132,90.

4. DISCUSSÃO

A abundância de copaíba nas quatro áreas foi coerente com outras pesquisas realizadas na Flona Tapajós (Tabela 4). Os valores dessa e outras pesquisas sugerem que se trata de uma espécie rara, pois todas as áreas apresentaram menos de uma árvore por hectare. Além disso, constatou-se que não existe variabilidade regional significativa na abundância, pois elas foram iguais. A uniformidade na abundância é corroborada ainda por meio de outros censos florestais realizados em áreas vizinhas, distantes até 2.000 m (Tabela 4). Ainda que tenhamos incluído apenas árvores com DAP ≥ 30 cm, acredita-se que se diâmetros menores fossem inventariados, provavelmente as abundâncias manter-se-iam abaixo de uma árvore ha⁻¹. Em regiões próximas às áreas dessa pesquisa, ainda na Flona Tapajós, foi constatado que

árvores de copaíba com DAP ≥ 15 cm apresentaram abundâncias que variam de 0,21 - 0,51 árvores ha⁻¹ (HERRERO-JÁUREGUI et al., 2012). Na Flona Saracá-

Taquera, próxima à Flona Tapajós, foram obtidas 0,55 e 0,45 árvores ha⁻¹ de copaíba com DAP ≥ 10 cm, em uma área de encosta e vale, respectivamente (GEBARA et al., 2016).

Tabela 3. Valor monetário (R\$ UPA⁻¹) do óleo-resina de populações de copaíba para as áreas A, B, C e D, considerando os municípios de Altamira, Belém, Breves e Santarém.

Table 3. Monetary value (R\$ UPA⁻¹) of oil-resin from copaiba populations for areas A, B, C and D, considering the municipalities of Altamira, Belém, Breves and Santarém.

Áreas	N	Produção (L)	Altamira	Belém	Breves	Gurupá	Santarém
A	34	22,1	R\$ 3.173,83	R\$ 2.370,28	R\$ 1.102,42	R\$ 2.380,48	R\$ 2.254,20
B	25	16,3	R\$ 2.333,70	R\$ 1.742,85	R\$ 810,60	R\$ 1.750,35	R\$ 1.657,50
C	58	37,7	R\$ 5.414,18	R\$ 4.043,41	R\$ 1.880,59	R\$ 4.060,81	R\$ 3.845,40
D	66	42,9	R\$ 6.160,97	R\$ 4.601,12	R\$ 2.139,98	R\$ 4.620,92	R\$ 4.375,80
Total	183	119	R\$ 17.082,68	R\$ 12.757,66	R\$ 5.933,59	R\$ 12.812,56	R\$ 12.132,90

em que: N = número de árvores produtivas.

Tabela 4. Número de árvores por hectare registrado em outras regiões da Amazônia.

Table 4. Number of trees per hectare recorded in other regions of the Amazon.

Localização	Local	Área (ha)	Nível de inclusão	N (ha ⁻¹)	D	Fonte
Paragominas, PA	IFT	1.220	DAP ≥ 45 cm	0,21	-	Herrero-Jáuregui et al. (2012)
Flona Tapajós, PA	Ambé	865	DAP ≥ 45 cm	0,12	-	Herrero-Jáuregui et al. (2012)
Flona Tapajós, PA	Dendrogene	500	DAP ≥ 45 cm	0,17	-	Herrero-Jáuregui et al. (2012)
Flona Tapajós, PA	UPA-4	800	DAP ≥ 35 cm	0,15	59,1	Cruz (2009)
Flona Tapajós, PA	UPA-7	1.000	DAP ≥ 35 cm	0,17	53,1	Cruz (2012)
Flona Tapajós, PA	UPA-8	1.000	DAP ≥ 35 cm	0,18	65,6	Santos et al. (2013)
Flona Tapajós, PA	UPA-11	1.589,5	DAP ≥ 35 cm	0,06	64,2	Morais e Oliveira (2016)
Flona Sacará- Taquera, PA	Encosta	99,8	DAP ≥ 30 cm	0,33	41,6	Gebara et al. (2016)
Flona Sacará- Taquera, PA	Vale	134,6	DAP ≥ 30 cm	0,25	42,9	Gebara et al. (2016)
Flona Tapajós, PA	A	600	DAP ≥ 30 cm	0,14	61,9	Esse estudo
Flona Tapajós, PA	B	400	DAP ≥ 30 cm	0,15	55,2	Esse estudo
Flona Tapajós, PA	C	1.000	DAP ≥ 30 cm	0,14	60,2	Esse estudo
Flona Tapajós, PA	D	1.486	DAP ≥ 30 cm	0,11	66,2	Esse estudo

em que: N (ha⁻¹) = número de árvores por hectare; e DAP = diâmetro à 1,30 m do solo.

A abundância de árvores com DAP ≥ 10 cm encontradas por Herrero-Jáuregui et al. (2012) e Gebara et al. (2016) foram próximas às encontradas nesse e outros estudos realizados na Flona Tapajós que utilizaram níveis de inclusão maiores (Tabela 4), sugerindo que o número de árvores de copaíba com diâmetro de 10-30 cm é baixo. A baixa abundância dessas árvores é provavelmente ocasionada pela alta taxa de mortalidade de plantas recém-brotadas e mudas de copaíba (HERRERO-JÁUREGUI et al., 2011; KLAUBERG et al., 2017) e pela baixa eficiência de estabelecimento dessas (GEBARA et al., 2016; HERRERO-JÁUREGUI et al., 2011). Normalmente, apenas 1,3 e 30% de plântulas e mudas de copaíbas, respectivamente, atingem DAP ≥ 10 cm (GEBARA et al., 2016). Devido ser uma espécie clímax exigente de luz, suas mudas não conseguem sobreviver longos períodos suprimidas no sub-bosque. Assim, por serem áreas em estágio de sucessão clímax e de dossel fechado, acredita-se que o baixo número de árvores nas classes diamétricas iniciais seja decorrência disso.

O acúmulo de árvores nas classes intermediárias, por sua vez, é provavelmente decorrência do ritmo de crescimento das árvores, pois quanto mais velha a árvore de copaíba, mais lento é o crescimento (GEBARA et al., 2016). Além disso, a diferença no crescimento da copaíba ao longo de sua história de vida indica que árvores com o mesmo diâmetro podem ter idades diferentes. À medida que as árvores crescem, ocorre o autodesbaste. Isso faz com que poucas árvores alcancem os maiores diâmetros, explicando o declínio de árvores nas classes diamétricas maiores (ARAÚJO et al., 2014). Assim, considerando o ciclo de vida da copaíba, esperar-se-ia uma estrutura bimodal com pico de alta densidade nas classes que

envolveriam indivíduos recém-germinados e mudas, e outro de menor densidade nas classes entre 50-80 cm de DAP. As menores abundâncias seriam associadas às árvores jovens (entre 5 e 30 cm de DAP) e senescentes (a partir de 80 cm). Estruturas diamétricas tendendo à normalidade também têm sido descritas para outras espécies clímax exigentes de luz, a saber: andiroba e castanha-do-pará (GUARINO et al., 2014; VIEIRA et al., 2017).

Além de abundâncias baixas e iguais, a maioria das populações possuem média de DAP e distribuições diamétricas iguais. As médias de diâmetro são coerentes com outras pesquisas realizadas na Flona Tapajós e maiores que os descritos na Flona Saracá-Taquera (Tabela 4). Trata-se de uma espécie estruturalmente semelhante nas áreas da Flona Tapajós e que possui DAP relativamente baixo para vegetações tropicais. Isso traz implicações importantes para o manejo florestal de uso múltiplo dessa espécie, a saber: ponderando que as médias estão próximas ao diâmetro mínimo de corte (50 cm) determinado pelos órgãos ambientais e que as árvores mais produtivas se encontram na faixa de 50-70 cm de diâmetro (BENATHAR et al., 2021; PLOWDEN, 2003), pode-se prever que ao se cortar árvores com DAP ≥ 50 cm, estar-se-ia eliminando as árvores que produzem mais óleo-resina. Isso impactaria negativamente a produção de óleo-resina e a expectativa de renda. O ideal seria permitir que somente árvores a partir de 70 cm de diâmetro fossem exploradas para fins madeireiros, pois a quantidade de óleo-resina nessas árvores é considerada insignificante (PLOWDEN, 2003).

O padrão espacial da copaíba foi predominantemente aleatório, contrariando a agregação frequentemente

encontrada para espécies arbóreas na Amazônia e o conhecimento o tradicional dos extrativistas. Mas, houve um intervalo de distância cuja agregação foi detectada na área C. Em outras áreas da Flona Tapajós e no município de Paragominas - PA, também foram encontrados padrões espaciais aleatórios e esporádicos pontos de agregação a curtas distâncias para árvores com DAP ≥ 45 cm (HERRERO-JÁUREGUI et al., 2012). A aleatoriedade parece ser característica de copaibas adultas, enquanto as mudas, plântulas, varetas e indivíduos com DAP < 10 cm provavelmente distribuem-se de forma agregada. A síndrome de dispersão barocórica e zoocórica parece influenciar o padrão espacial apenas de indivíduos mais jovens. Algumas pesquisas notaram tendências a agregação e aleatoriedade para plântulas e árvores com DAP ≥ 10 cm, respectivamente (HERRERO-JÁUREGUI et al., 2012; GEBARA et al., 2016). Isso mostra que provavelmente a distribuição espacial da copaíba muda ao longo de seu ciclo de vida.

Os processos de dispersão e germinação determinam um padrão espacial agregado de plântulas a curtas distâncias, mas cujos agregados se distribuem aleatoriamente a maiores distâncias. Inicialmente, atingem-se altas densidades de indivíduos jovens nas imediações da árvore-mãe. Posteriormente, a competição intraespecífica, mortalidade dependente da densidade e o autodesbaste reduz o número de indivíduos, favorecendo as plântulas mais distantes e fazendo com que poucas árvores alcancem os maiores diâmetros (ARAÚJO et al., 2014). Ao longo desse processo a intensidade da agregação juvenil associada a cada árvore-mãe sumiria, enquanto o padrão espacial de árvores adultas se tornaria aparente. A transição de agregado para aleatório provavelmente ocorre quando os indivíduos são plântulas, pois Gebara et al. (2016) e Herrero-Jáuregui et al. (2012), na Flona Tapajós e entornos, mostraram que árvores de copaibas com DAP ≥ 10 cm possuem distribuições aleatórias ou tendendo à agregação.

A aleatoriedade pode ser causada também pelo tamanho da área amostral (CONDIT et al., 2000). Espera-se que quanto maior a área, maior a probabilidade de incluir a heterogeneidade ambiental, e por tanto detectar agregação. Mas, as áreas variaram de 400 a 1.486 hectares, sendo muito maiores que a maioria das pesquisas e dando maior suporte e significância em nível populacional a aleatoriedade da copaíba. Isso mostra que o tamanho da área amostral não influencia o padrão espacial dessa espécie. A aleatoriedade tem implicações negativas, pois as atividades de coleta de óleo-resina ou madeira não serão concentradas. A distância entre as árvores aumenta, fazendo com que poucas árvores sejam visitadas e perfuradas por dia e que a distância de deslocamento aumente. Isso diminui a eficiência da coleta e a viabilidade econômica processo de coleta de óleo-resina (NEWTON et al., 2012a). No contexto madeireiro, a derrubada de árvores de copaíba força os polinizadores e dispersores naturais a percorrer distâncias maiores que as naturalmente impostas, o que prejudicaria sua reprodução (MIRON et al., 2021).

A expectativa de renda com a comercialização do óleo-resina de copaíba por área e município foi baixa, uma vez que outros produtos não madeireiros têm gerado receitas maiores, a saber: castanha-do-pará e andiroba. Isso é consequência da baixa abundância de árvores, característica da espécie, da produtividade de óleo-resina e da incerteza de que uma árvore será produtiva ou não. Mas, é possível que sejam encontradas árvores superprodutivas, o que

aumentaria a receita. Existem casos em que apenas uma árvore produziu 18 litros de óleo-resina (RIGAMONTE-AZEVEDO et al., 2006), o que é maior que toda a produção estimada para a área B. As maiores receita foram obtidas quando a produção das áreas foi comercializada para Altamira, enquanto as menores foram associadas a Breves. Isso mostra que a produção não deve ser comercializada para Breves, pois com a inclusão dos custos de produção (determinação do potencial da área, mapeamento das árvores, beneficiamento, transporte, embalagens, insumos, equipamentos, infraestrutura e mão-de-obra) não haveria lucros significativos.

As melhores opções de comercialização seriam Altamira e Santarém, que são mais próximos às áreas e possuem preços atraentes. Os custos de transporte são proporcionais à distância. Assim cidades como Belém e Gurupá, que são mais distantes das áreas de produção, embora tenham preços próximos aos de Santarém apresentam maiores custos de transporte. Apesar disso, a expectativa de renda adquirida com a venda do óleo-resina é um incentivo aos comunitários e populações tradicionais, por meio da complementação da renda mensal, e aos investimentos em pesquisas e tecnologias que visem melhor aproveitamento e manejo florestal da copaíba (PINHEIRO et al., 2019). Além disso, embora a expectativa de renda seja baixa acredita-se que a comercialização do óleo-resina de copaíba por meio de cooperativas traria maiores retornos aos comunitários. Isso porque cooperativas mitigam o papel de intermediários na comercialização direta com o extrativista, aumentam o poder de barganha no mercado e possibilitam o armazenamento da produção para comercialização na entressafra, quando o preço aumenta.

A adoção de cooperativas implica também na possibilidade da colheita contígua de outros produtos não madeireiros, tais como andiroba e castanha-do-pará. Nesse caso, a expectativa de renda aumentaria, pois são espécies altamente produtivas e cujo óleo e amêndoas possuem de preço de comercialização altos. Além disso, resolveria o problema da queda de produção de óleo-resina e consequente redução da expectativa de renda após o primeiro ano de sua colheita (NEWTON et al., 2012b). O ciclo de colheita ótimo para o óleo-resina de copaíba é de três anos (KLAUBERG et al., 2014). Além da multiplicidade de produtos, cooperativas podem receber a certificação, o que agrega valor e ao mesmo tempo incentiva o manejo sustentável dos recursos florestais. Óleo-resina rotulada e marcada de fontes confiáveis geram receitas cinco vezes maiores do que as quantidades equivalentes vendidas informalmente (NEWTON et al., 2012b). A venda informal é atrativa se o interesse for individual, pois contribuir significativamente para a renda de algumas famílias. Extraíndo mensalmente dois litros de óleo-resina, uma família arrecadaria 18% do salário-mínimo atual (R\$ 1.212,00) se o produto fosse comercializado em Santarém.

5. CONCLUSÕES

A copaíba apresentou baixa abundância, distribuição diamétrica com tendência normal e padrão espacial aleatório. Portanto, rejeita-se apenas as hipóteses nulas de alta abundância e distribuições diamétrica em J-invertido. O valor econômico das áreas teve alta variação e a melhor alternativa de comercialização é para Altamira.

6. REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ARAÚJO, E. J. G.; DAVID, H. C.; PÉLLICO-NETTO, S.; MORAIS, V. A.; SCOLFORO, J. R. S. Padrão espacial de espécies arbóreas em fragmento de floresta estacional semidecidual. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, n. 2, p. 166-171, 2014. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2014.010>
- BENATHAR, I. S. C.; ALMEIDA, B. V.; RODRIGUES, M.; SOUSA, J. B. O.; MACHADO, M. R. M. C.; EBLING, Á. A.; GOULART, S. L. Potential of *Copaifera* spp. oleoresin for sustainable extraction in the Eastern Amazon. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 7, p. 10275-10287, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01056-7>
- CONDIT, R.; ASHTON, P. S.; BAKER, P.; BUNYAVEJCHEWIN, S.; GUNATILLEKE, S.; GUNATILLEKE, N.; HUBBELL, S. P.; FOSTER, R. B.; ITOH, A.; AFRANKIE, J. V. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. **Science**, v. 288, n. 5470, p. 1414-1418, 2000. <https://doi.org/10.1126/science.288.5470.1414>
- CRUZ, E. M. A. **Plano Operacional Anual da UPA-04**. Santarém : Coomflona, 2009. 59p.
- CRUZ, E. M. A. **Plano Operacional Anual da UPA-07**. Santarém : Coomflona, 2012. 68p.
- GEBARA, J.; BARBOSA, A. P.; AZEVEDO, I. M. G.; GIMENEZ, B. O. Estrutura populacional e produção de óleo-resina de copaíba entre vales e encostas de área de meniração no rio Trombetas-Pará. **Revista Árvore**, v. 40, n. 1, p. 51-60, 2016. <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000100006>
- GUARINO, E. D. S. G.; GESSNER, C. M.; WADT, L. H. O.; FONSECA, F. L.; RAPOSO, A. Estrutura etária e espacial de uma população natural de *Carapa guianensis* Aubl.(Meliaceae) na Amazônia Sul Ocidental. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 101, p. 91-99, 2014.
- GUIMARÃES, J.; AMARAL, P.; PINTO, A.; GOMES, I. **Preços de produtos da floresta: uma década de pesquisa e divulgação**. Belém: Imazon, 2019. 52p.
- GUIMARÃES, P. P.; BOTREL, R. T.; NOGUEIRA, N. W.; CASTRO, V. G.; AGUIAR, G. P.; CARMO, F. C. D. A. Produtos florestais não madeireiros do nordeste brasileiro: carnaúba. **Nativa**, v. 6, n. 2, p. 213-218, 2018. <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i2.4732>
- HERRERO-JÁUREGUI, C.; GARCÍA-FERNÁNDEZ, C.; SIST, P. L. J.; CASADO, M. A. Recruitment dynamics of two low-density neotropical multiple-use tree species. **Plant ecology**, v. 212, n. 9, p. 1501-1512, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11258-011-9924-0>
- HERRERO-JÁUREGUI, C.; SIST, P.; CASADO, M. A. Population structure of two low-density neotropical tree species under different management systems. **Forest Ecology and Management**, v. 280, p. 31-39, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.006>
- KLAUBERG, C.; SILVA, C. A.; LIMA, M. P.; CARVALHO, S. P. C. Panorama mundial sobre publicações técnico-científicas abordando produtos florestais não madeireiros nas duas últimas décadas. **Advances in Forestry Science**, v. 3, n. 2, p. 29-37, 2016. <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v3i2.3430>
- KLAUBERG, C.; VIDAL, E.; RODRIGUEZ, L. C.; DIAZ-BALTEIRO, L. Determining the optimal harvest cycle for copaíba (*Copaifera* spp.) oleoresin production. **Agricultural Systems**, v. 131, p. 116-122, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.07.007>
- KLAUBERG, C.; VIDAL, E.; SILVA, C. A.; HUDAK, A. T.; OLIVEIRA, M.; HIGUCHI, P. Short-term effects of reduced-impact logging on *Copaifera* spp. (Fabaceae) regeneration in Eastern Amazon. **Forests**, v. 8, n. 7, p. 257, 2017. <https://doi.org/10.3390/f8070257>
- MARTINS, K.; HERRERO-JÁUREGUI, C.; COSTA, P.; TONINI, H.; BENTES-GAMA, M. M.; VIEIRA, A. H.; WADT, L. H. O. Interspecific differences in the oleoresin production of *Copaifera* L.(Fabaceae) in the Amazon rainforest. **Annals of Forest Science**, v. 70, n. 3, p. 319-328, 2013. <https://doi.org/10.1007/s13595-012-0254-8>
- MIRON, A. C.; BEZERRA, T. G.; NASCIMENTO, R. G. M.; EMMERT, F.; PEREIRA, R. S.; HIGUCHI, N. Spatial distribution of six managed tree species is influenced by topography conditions in the Central Amazon. **Journal of Environmental Management**, v. 281, p. 111835, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111835>
- MORAIS, K. A. C.; OLIVEIRA, L. G. **Plano Operacional Anual da UPA-11**. Santarém: Coomflona, 2016. 54p.
- NEVES, E. S.; WADT, L. H. O.; GUEDES, M. C. Estrutura populacional e potencial para o manejo de *Bertholletia excelsa* (Bonpl.) em castanhais nativos do Acre e Amapá. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 19-31, 2016. <https://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n109.02>
- NEWTON, P.; PERES, C. A.; DESMOULIERE, S. J.; WATKINSON, A. R. Cross-scale variation in the density and spatial distribution of an Amazonian non-timber forest resource. **Forest Ecology and Management**, v. 276, p. 41-51, 2012a. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.03.020>
- NEWTON, P.; WATKINSON, A. R.; PERES, C. A. Spatial, temporal, and economic constraints to the commercial extraction of a non-timber forest product: Copaíba (*Copaifera* spp.) oleoresin in Amazonian reserves. **Economic Botany**, v. 66, n. 2, p. 165-177, 2012b. <https://doi.org/10.1007/s12231-012-9198-z>
- NEWTON, P.; WATKINSON, A. R.; PERES, C. A. Determinants of yield in a non-timber forest product: Copaifera oleoresin in Amazonian extractive reserves. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 2, p. 255-264, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.10.014>
- PINHEIRO, J. C.; GAMA, J. R. V.; OLIVEIRA, F. A.; RIBEIRO, R. B. S.; CRUZ, G. S. Fitossociologia e expectativa de renda com produtos florestais madeireiros e não madeireiros em assentamento no Pará. **Nativa**, v. 7, n. 1, p. 101-108, 2019. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i1.6551>
- PLOWDEN, C. Production ecology of copaíba (*Copaifera* spp.) oleoresin in the eastern Brazilian Amazon. **Economic Botany**, v. 57, n. 4, p. 491-501, 2003. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2003\)057\[0491:PEOCCS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2003)057[0491:PEOCCS]2.0.CO;2)
- RIGAMONTE-AZEVEDO, O. C.; WADT, P. G. S.; WADT, L. H. D. Potencial de produção de óleo-resina de copaíba (*Copaifera* spp.) de populações naturais do

sudoeste da Amazônia. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 583-591, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000400011>

RIPLEY, B. D. Modelling spatial patterns. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, v. 39, n. 2, p. 172-192, 1977. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1977.tb01615.x>

SANTOS, K. W. S.; RIBEIRO, R. B. S.; CRUZ, S. **Plano Operacional Anual da UPA-08**. Santarém: Coomflona, 2013. 61p.

SILVA, M. K. V. S.; GAMA, J. R. V.; OLIVEIRA, F. D. A.; RIBEIRO, R. B. S.; MELO, L. O.; ANDRADE, D. F. C.; SILVA, A. A.; SILVA CRUZ, G. Capacidade produtiva em floresta de planalto no baixo Tapajós, Amazônia Oriental. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 130, p. e3460, 2021. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n130.02>

VASCONCELOS, R. G.; LINHARES, A. C. C.; MARQUES, M. B. L.; ALVES, S. R. M. Análise da oferta de oleorresina de copaíba (*Copaifera* spp.) no Brasil e do dinamismo do valor da produção. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 2, p. 684-692, 2020. <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v5i2-793>

VIEIRA, D. S.; OLIVEIRA, M. L. R.; GAMA, J. R. V.; MACHADO, E. L. M.; GORGENS, E. B. Patrón espacial y métodos de muestreo para *Bertholletia excelsa* (castaña de Pará) en la Mesorregión del Bajo Amazonas, estado de Pará, Brasil. **Bosque**, v. 38, n. 1, p. 97-107, 2017. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000100011>