



## Desenvolvimento de plantios de *Carapa guianensis* Aubl. na região de Santarém-PA, Brasil

Katrine dos Santos FLEXA <sup>1</sup> , Rafael RODE <sup>\*1</sup> , Thiago Gomes de Sousa OLIVEIRA <sup>1</sup> ,  
Daniela PAULETTO <sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, PA, Brasil.

\*Email: [rafael.rode@ufopa.edu.br](mailto:rafael.rode@ufopa.edu.br)

Submetido em: 10/07/2025; Aceito em: 11/02/2026; Publicado em: 03/03/2026.

**RESUMO:** Este estudo analisou o desenvolvimento dendrométrico de plantios de *Carapa guianensis* na região de Santarém-PA, visando subsidiar o manejo silvicultural. Foram avaliadas 130 árvores com 11, 13 e 17 anos, coletando-se dados de diâmetro a 1,30 m do solo (DAP), diâmetro de copa (DC) e alturas totais, comerciais e de inserção de copa. Os resultados revelaram competição intraespecífica desde os 11 anos, evidenciada pela estabilização das médias de DAP e DC, enquanto as alturas continuaram a crescer. O Índice de Abrangência confirmou a ocupação total do espaço, com copas médias (~6 m) superando o espaçamento de 5,5 m. Embora os fustes sejam majoritariamente retilíneos (>85%), a qualidade das copas declina com o adensamento, o que indica estresse competitivo. A variabilidade estrutural aumentou com a idade, refletindo a formação de classes de árvores dominantes e suprimidas. A relação DAP/DC mostrou-se robusta ( $R^2$  de até 0,81), servindo de guia para o planejamento de intervenções. Conclui-se que a espécie possui mecanismos de sobrevivência sob estresse da competição e que a realização de podas e desbastes precoces e sucessivos, orientados pela relação DAP/DC, é essencial para mitigar a competição e garantir o crescimento diamétrico sustentável da espécie.

**Palavras-chave:** Amazônia; andiroba; morfometria; silvicultura.

## Development of *Carapa guianensis* Aubl. plantations in the Santarém region, Pará, Brazil

**ABSTRACT:** This study analyzed the dendrometric development of *Carapa guianensis* plantations in the Santarém region, Pará, aiming to support silvicultural management practices. A total of 130 trees aged 11, 13, and 17 years were evaluated, collecting data on diameter at breast height (DBH), canopy diameter (CD), total height, commercial height, and canopy insertion height. The results indicated the onset of intraspecific competition from age 11, evidenced by the stabilization of mean DBH and CD, while height growth continued. The Crown Coverage Index confirmed full site occupancy, with mean crown diameters (~6 m) exceeding the initial spacing of 5.5 m. Although most stems were straight (>85%), crown quality declined with increasing stand density, indicating competitive stress. Structural variability increased with age, reflecting the differentiation of dominant and suppressed tree classes. The DBH-CD relationship showed a strong fit ( $R^2$  up to 0.81), serving as a useful indicator for planning silvicultural interventions. It is concluded that the species exhibits survival mechanisms under competitive stress and that early and successive pruning and thinning, guided by the DBH-CD relationship, are essential to mitigate competition and ensure sustainable diameter growth.

**Keywords:** Amazon; andiroba; morphometry; silviculture.

### 1. INTRODUÇÃO

*Carapa guianensis* Aubl., popularmente conhecida como andiroba, é uma espécie arbórea da família Meliaceae, nativa da região Amazônica, com ocorrência tanto em áreas alagadas quanto em terra firme. A espécie se destaca por suas características silviculturais favoráveis, como a boa forma de fuste e a adaptação ecológica, o que contribui para sua valorização no setor madeireiro. As sementes e o óleo extraído são amplamente utilizados, especialmente por seus efeitos terapêuticos, anti-inflamatórios e cicatrizantes, o que reforça seu valor medicinal e comercial (DIAS et al., 2023; FONSECA et al., 2024).

Em função de sua crescente importância econômica, *C. guianensis* tem sido cultivada em plantios homogêneos para otimizar a produção de madeira e de produtos não madeireiros. A demanda pelo óleo de andiroba vem aumentando nas indústrias cosméticas e farmacêuticas, consolidando-se como fonte potencial de renda para as comunidades que cultivam a espécie de forma sustentável (MACHADO; MENDES, 2021; DÜNISCH et al., 2002; DIAS et al., 2023).

Além do valor comercial, o cultivo desta espécie pode representar uma alternativa importante para o desenvolvimento sustentável das comunidades tradicionais

da região amazônica. A espécie se adapta bem a sistemas de manejo florestal sustentáveis, favorecendo a geração de empregos locais e a diversificação da economia dessas comunidades (ROSENFELD et al., 2024; 2026).

A adoção de práticas de manejo sustentáveis pode fortalecer essas comunidades, muitas das quais enfrentam desafios decorrentes da exploração predatória dos recursos naturais (HESS et al., 2024). Nesse contexto, o plantio de *C. guianensis* torna-se uma estratégia importante para a recuperação ambiental e para o controle da pressão sobre as florestas nativas. Cultivos com espécies nativas reduzem a necessidade de desmatamento, aumentam a biodiversidade do solo (MARSHALL et al., 2022) e contribuem para a qualidade edáfica e para o estoque de carbono no solo (SALAZAR et al., 2024).

Para que o plantio de *C. guianensis* seja eficiente, é essencial compreender a dendrometria e morfometria da espécie no contexto do monocultivo. Variáveis como o diâmetro à altura do peito (DAP), a altura das árvores e a forma da copa influenciam diretamente o crescimento e a produtividade, sendo fundamentais para aprimorar o manejo e maximizar os benefícios econômicos e ecológicos (TONINI; ARCOVERDE, 2005; EVARISTO et al., 2021).

Neste contexto, a morfometria é uma ferramenta essencial para identificar indivíduos com atributos desejáveis para o manejo florestal, como maior vigor, retidão do fuste e maior eficiência na interceptação de luz. Estudos com espécies tropicais demonstram que variáveis como diâmetro, altura total, altura de inserção da copa e proporção de copa são eficazes para caracterizar o crescimento e a qualidade do fuste, contribuindo para o planejamento silvicultural (SHENKIN et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021). Tais abordagens podem ser adaptadas para *C. guianensis*, fornecendo subsídios técnicos para o planejamento e a sustentabilidade dos plantios. Por exemplo, estudos como os de Marshall et al. (2022), Reis et al. (2022) e Villacorta et al. (2023) demonstram a eficácia dessas práticas para promover o uso sustentável dos recursos florestais em diferentes contextos amazônicos.

Diante da relevância ecológica e econômica de *C. guianensis*, este trabalho teve como objetivo caracterizar plantios homogêneos da espécie na região de Santarém-PA, Brasil, por meio da análise de variáveis dendrométricas e morfométricas, identificando índices e relações entre variáveis que subsidiem decisões quanto à necessidade de tratamentos silviculturais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Local de estudo

Este trabalho foi realizado em uma propriedade familiar na comunidade Sumaúma, situada a aproximadamente 70 km da sede municipal de Santarém-PA ( $2^{\circ}39'15.9''$  S e  $54^{\circ}24'31.1''$  W), com acesso pela rodovia Curuá-Una (PA-370), conforme ilustrado na Figura 1.

Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta clima do tipo Am (quente e úmido), com precipitação média anual de aproximadamente 1.920 mm, temperaturas entre 25 e 28 °C e umidade relativa do ar em torno de 86% (Alvares et al., 2013). O solo predominante é o Latossolo Amarelo Distrófico (GAMA et al., 2020).

A propriedade rural possui uma área total de 80 hectares, distribuída entre vegetação natural, sistemas agroflorestais (SAFs) e plantios de espécies comerciais com destaque para *Carapa guianensis* Aubl.



Figura 1. Localização da área de estudo na comunidade de Sumaúma, em Santarém-PA, Brasil.

Figure 1. Location of the study area in the Sumaúma community, in Santarém-PA-Brazil.

Os plantios de *Carapa guianensis* foram realizados entre 2005 e 2009, totalizando aproximadamente 600 indivíduos. O espaçamento de plantio foi definido pelo produtor, que procurou manter entre 5 e 6 metros entre as árvores, em formato quadrado.

### 2.2. Coleta e análise de dados

A coleta de dados ocorreu em abril de 2022 e incluiu uma amostra de 130 árvores de *Carapa guianensis*, distribuídas em três idades de plantio: 11, 13 e 17 anos. Foram mensurados, respectivamente, 37, 55 e 38 indivíduos em áreas de 1.535,5 m<sup>2</sup>, 1.624,8 m<sup>2</sup> e 1.321,4 m<sup>2</sup>, fisicamente delimitadas com o auxílio de uma trena no interior do plantio, com pelo menos uma linha de borda.

Com o auxílio de uma fita métrica e uma trena, mediram-se os diâmetros à altura do peito (DAP) a 1,3 m do solo para todas as árvores, além do diâmetro da copa (DC), obtido por meio de duas medições nos sentidos leste-oeste e norte-sul.

Para a medição das alturas totais (HT), comerciais (HC) e de inserção de copa (IC), utilizou-se o hipsômetro Vertex IV®. Para garantir a presença de árvores representativas em diâmetro à altura do peito (DAP) e sob diferentes níveis de competição, as medições foram realizadas nas duas primeiras fileiras de cada área de plantio, totalizando 21 árvores na área de 11 anos, 34 na de 13 anos e 28 na de 17 anos.

Após a coleta, os dados foram analisados em três idades por meio de estatística descritiva aplicada a cada variável. As variáveis DAP e HT foram agrupadas em classes de 2 cm e 1 m, respectivamente, para avaliar as mudanças na distribuição diamétrica e vertical ao longo do tempo. As médias das variáveis entre as idades foram comparadas pelo teste t independente, enquanto a normalidade das distribuições de DAP e HT foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk.

Para análise e comparação visual da estrutura do povoamento entre as idades, foi elaborado um gráfico de perfil com base nos percentis 25, 50 e 75% das variáveis HT, HC, IC e DC. Estes valores compõem a representação de 3 árvores: média (50%), abaixo da média (25%) e acima da média (75%), em proporção ao espaçamento médio de 5,5 m.

Uma avaliação qualitativa das árvores foi realizada com base em três critérios principais, segundo Durlo; Denardi (1998) e Reis et al. (2021). A qualidade da copa (QC) era classificada em: 1) Ótima, quando vigorosa e sem galhos secos ou mortos; 2) Regular, quando apresentava vigor médio, com galhos secos ou mortos passíveis de poda; e 3) Ruim, quando comprometida, com danos severos aos galhos, como quebras ou lesões mecânicas, sem possibilidade de recuperação. A qualidade do fuste (QF) foi categorizada em: 1) Reto; 2) Levemente torto; e 3) Tortuoso. Já a fitossanidade (F) foi avaliada como: 1) Saudável, quando a árvore não apresentava sinais de fungos, insetos ou lesões; 2) Média, quando havia presença de pragas ou doenças que não comprometiam o crescimento; e 3) Infestada, quando o alto grau de pragas ou doenças afetava o desenvolvimento da árvore. O comportamento das árvores também foi avaliado por meio de índices morfométricos apresentados na Tabela 1, conforme as recomendações de Condé et al. (2013).

Tabela 1. Variáveis morfométricas do povoamento de *Carapa guianensis* na comunidade de Sumaúma, Santarém-PA, Brasil.  
Table 1 - Morphometric variables for the *Carapa guianensis* stand in the Sumaúma community, Santarém-PA, Brazil.

Variável	Fórmula	Unidade
Comprimento de copa (CC)	HT-IC	m
Proporção de copa (PC)	CC/HT×100	%
Grau de esbeltez (GE)	HT/DAP	m/cm
Índice de saliência (IS)	DC/DAP	m/m
Índice de abrangência (IA)	DC/HT	m/m
Formal de copa (FC)	DC/CC	m/m

Posteriormente, buscou-se relacionar as principais variáveis medidas no povoamento ao diâmetro DAP por meio de modelos de regressão. Foram utilizadas pelos modelos da reta:  $Y = b_0 + b_1 \times DAP$ , e de Curtis:  $\ln(Y) = b_0 + b_1 \times (1/DAP)$ , onde: Y = variável resposta, b0 = coeficiente de interseção, b1 = coeficiente angular e ln = logaritmo natural. Para avaliação da qualidade do ajuste, observaram-se o maior coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), o menor erro padrão de estimativa (Syx%) e a análise gráfica dos valores observados vs. estimados.

### 3. RESULTADOS

Os resultados das variáveis mensuradas no povoamento de *Carapa guianensis* são apresentados na Tabela 2, por meio de análise estatística descritiva. Observa-se que, para as variáveis Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e Diâmetro de Copa (CD ou DC), os valores médios se mantiveram muito próximos entre as idades avaliadas (11, 13 e 17 anos), inclusive na maior idade. Em contraste, os valores médios das alturas totais (HT), comerciais (HC) e de inserção de copa (IC) foram maiores e distintos na idade de 17 anos.

A análise morfométrica, apresentada na Tabela 3, fornece subsídios importantes para compreender o desenvolvimento individual e o do povoamento de andiroba nas diferentes idades estudadas. Neste estudo, os valores médios da Proporção de Copa (PC) foram mais elevados nas idades mais jovens.

Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis diâmetro de copa (DC), altura total (HT), altura comercial (HT), inserção de copa (IC) e diâmetro (DAP) nos plantios de *Carapa guianensis*, nas idades de 11, 13 e 17 anos, na comunidade Sumaúma, Santarém-PA, Brasil.

Table 2. Descriptive statistics of the variables diameter (DBH), total height (TH), commercial height (CH), canopy diameter (CD), and canopy height intersection (CHI) in *Carapa guianensis* stands at ages 11, 13, and 17 years in the Sumaúma community, Santarém, PA, Brazil.

Variável	Idade	n	mín	máx	média	CV%
DAP (cm)	11	37	12,96	30,62	21,08 a	17,56
	13	55	14,07	26,90	20,39 a	16,12
	17	38	8,05	28,68	20,27 a	23,89
HT (m)	11	21	12,50	22,21	17,93 a	15,47
	13	34	11,10	23,00	17,05 a	17,60
	17	28	13,90	23,00	20,18 b	10,95
HC (m)	11	21	2,10	5,60	3,24 a	30,41
	13	34	1,80	6,60	3,78 a	34,43
	17	28	2,30	9,50	4,70 b	40,54
DC (m)	11	37	3,20	9,00	6,29 a	22,61
	13	55	2,30	8,50	5,68 a	23,93
	17	38	1,80	9,30	6,21 a	26,66
IC (m)	11	21	4,20	7,70	6,10 a	17,78
	13	34	2,90	9,10	6,35 a	22,60
	17	28	3,30	16,10	9,03 b	30,56

n = número de árvores; CV = coeficiente de variação; as médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente (t indep., p > 0,05).

n = number of trees; CV = coefficient of variation; means followed by the same letter do not differ statistically (t independent, p > 0.05).

Tabela 3. Parâmetros morfométricos de proporção de copa (PC), forma de copa (FC), grau de esbeltez (GE), índice de abrangência (IA) e índice de saliência (IS) dos plantios de *Carapa guianensis*, nas idades de 11, 13 e 17 anos, na comunidade Sumaúma, Santarém-PA, Brasil.

Table 3. Morphometric parameters of Canopy Ratio (CR), Canopy Form (CF), Slenderness Factor (SF), Coverage Index (CI), and Saliency Index (SI) of *Carapa guianensis* stands at ages 11, 13, and 17 years in the Sumaúma community, Santarém, Pará, Brazil.

Variável	Idade	n	mín	máx	média	CV%
PC	11	21	45,00	78,83	64,97	14,22
	13	34	45,83	76,04	62,50	11,84
	17	28	18,46	79,63	55,45	22,23
FC	11	21	0,37	0,94	0,56	24,78
	13	34	0,25	1,06	0,59	30,90
	17	28	0,31	1,61	0,63	42,00
GE	11	21	54,86	104,72	81,54	16,76
	13	34	46,85	105,97	79,49	17,20
	17	28	68,06	131,97	96,98	18,41
IA	11	21	0,24	0,54	0,36	24,92
	13	34	0,19	0,57	0,36	24,67
	17	28	0,21	0,47	0,32	22,16
IS	11	37	21,10	40,28	29,85	15,47
	13	55	15,03	36,29	27,72	15,84
	17	38	20,68	46,39	30,57	16,58

As médias de Formal de Copa (FC) nas idades avaliadas indicam tendência elíptica, sendo as idades mais jovens mais elípticas do que a de 17 anos. No entanto, a observação de valores máximos aos 17 anos sugere a presença de indivíduos com FC mais elevado nesse estágio. O mesmo comportamento ocorre para o grau de esbeltez (GE), que indica a estabilidade das árvores: quanto menor o valor, maior a estabilidade.

O índice de abrangência (IA) apresentou valores médios muito próximos, indicando que o povoamento já ocupa todo

## Desenvolvimento de plantios de *Carapa guianensis* Aubl. na região de Santarém-PA, Brasil

o espaço de crescimento a partir dos 11 anos de idade. Esse efeito pode ser observado no diâmetro médio da copa do povoamento, de aproximadamente 6 m, que supera o espaçamento médio de plantio, de 5,5 m.

Os valores do Índice de Saliência foram semelhantes entre as áreas, indicando a ausência de diferenças entre as idades de 11 a 17 anos. Ou seja, a copa manteve-se cerca de 30% maior do que o DAP.

Outra forma de visualização do formato das árvores e de sua posição no povoamento ao longo das idades é

apresentada no gráfico de perfil da Figura 2, no qual as alturas totais, comerciais e de inserção de copa, assim como o diâmetro de copa, são representados proporcionalmente nos percentis 50, 25 e 75%.

As distribuições de frequência dos diâmetros (DAP) e das alturas (HT) das árvores nas áreas, por classes de tamanho, estão apresentadas na Figura 3. Com exceção da distribuição das alturas na área de 17 anos, as variáveis apresentaram distribuição normal em todas as idades, indicando estabilidade do povoamento.

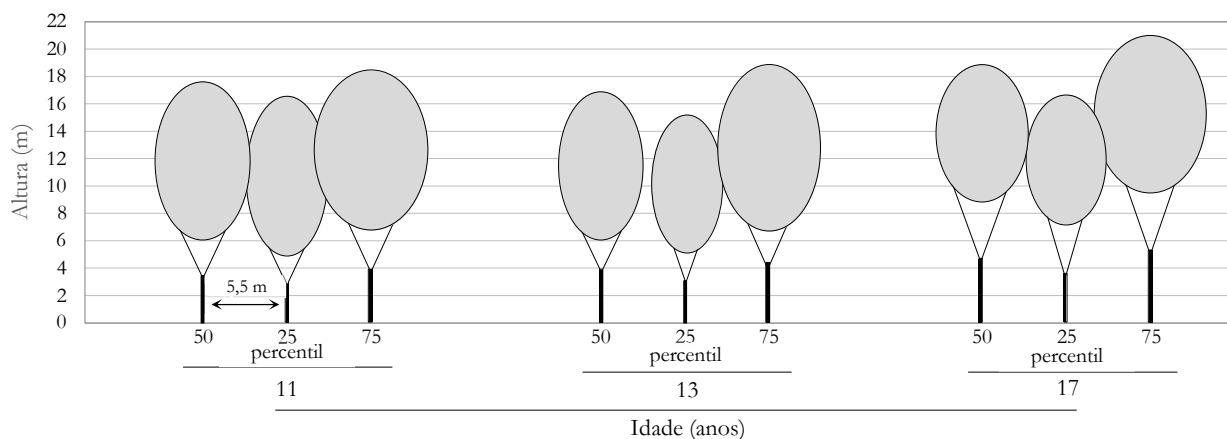


Figura 2. Perfil médio das árvores de *Carapa guianensis*, nas idades de 11, 13 e 17 anos, e nos percentis 25 e 75% das variáveis altura total (HT), altura comercial (HC), inserção de copa (IC), diâmetro de copa (DC) e comprimento de copa (CC), na comunidade Sumaúma, Santarém-PA, Brasil.

Figure 2. Average profile of *Carapa guianensis* trees at ages 11, 13, and 17 years, and at the 25th and 75th percentiles for the variables total height (TH), commercial height (CH), canopy height insertion (CHI), canopy diameter (CD), and canopy length (CL), from the Sumaúma community, Santarém-Pará-Brazil.

4

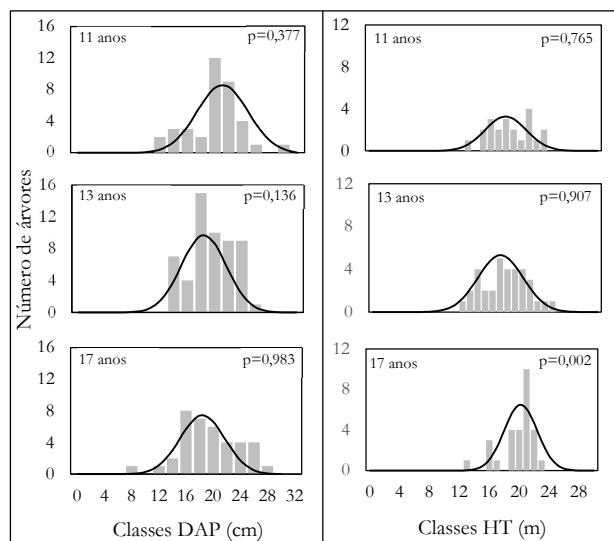


Figura 3. Distribuições de frequência e teste de normalidade de Shapiro-Wilk (SW) das variáveis diâmetro (DAP) e altura total (HT) de plantios de *Carapa guianensis* com 11, 13 e 17 anos de idade, na comunidade Sumaúma, Santarém-PA, Brasil.

Figure 3. Frequency distributions and Shapiro-Wilk (SW) normality tests for the variables diameter (DBH) and total height (TH) in *Carapa guianensis* stands at ages 11, 13, and 17 years in the Sumaúma community, Santarém-PA, Brazil.

A classificação das árvores quanto à qualidade do fuste, da copa e da fitossanidade é apresentada na Tabela 4. A qualidade do fuste é considerada retilínea em mais de 85% do povoamento, atingindo 100% na idade mais avançada. As copas apresentam excelente qualidade em mais de 65% dos

casos, com desempenho superior nas áreas mais jovens (85%). Não foram observados danos severos, lesões ou qualquer comprometimento nas copas em nenhuma das idades avaliadas. Observou-se a presença de cupins arborícolas em mais da metade das árvores, atingindo quase 70% na área de 11 anos, aparentemente sem afetar o desenvolvimento das árvores.

Tabela 4. Percentual de árvores de *Carapa guianensis* por classes de critérios de qualidade de fuste, copa e fitossanidade, em plantios de 11, 13 e 17 anos de idade, na comunidade Sumaúma, Santarém-PA, Brasil.

Critério	Classe	11 anos	13 anos	17 anos
		1 - Reto	97,3	87,5
Qualidade do fuste (QF)	2 - Levemente tortuoso	2,7	10,7	0,0
	3 - Tortuoso	0,0	1,8	0,0
	1 - Excelente	85,0	67,2	69,6
Qualidade da copa (QC)	2 - Regular	15,0	32,8	30,4
	3 - Ruim	0,0	0,0	0,0
	1 - Saudável	30,8	44,7	40,3
Fitossanidade (F)	2 - Média	69,2	55,3	59,7
	3 - Infestada	0,0	0,0	0,0

A relação entre as variáveis mensuradas e o Diâmetro à Altura do Peito (DAP) é apresentada na Tabela 5, e a qualidade do ajuste dos modelos é apresentada nas Figuras 4 e 5. Observam-se os melhores ajustes na relação DC/DAP, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 0,59 a 0,81 e erro

padrão (Syx%) de 15% nas idades estudadas. A relação entre as variáveis mensuradas e o Diâmetro à Altura do Peito (DAP) é apresentada na Tabela 5, e a qualidade do ajuste dos modelos é apresentada nas Figuras 4 e 5. Observam-se os melhores ajustes na relação DC/DAP, com coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) de 0,59 a 0,81 e erro padrão (Syx%) de 15% nas idades estudadas.

Tabela 5. Equações ajustadas para as variáveis altura total (HT), altura comercial (HC), inserção de copa (IC) e diâmetro de copa (DC) em função do diâmetro (DAP), para os plantios de *Carapa guianensis* de 11, 13 e 17 anos de idade, na comunidade Sumaúma, Santarém-PA, Brasil.

Table 5. Fitted equations for the variables total height (TH), commercial height (CH), canopy insertion height (CI), and canopy diameter (CD) as a function of diameter at breast height (DBH), for *Carapa guianensis* plantations aged 11, 13, and 17 years in the Sumaúma community, Santarém-PA-Brazil.

Idade	Equação	t-test	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	Syx%
Altura total (HT)				
11	$\exp(3,27814-8,708997 \times (1/DAP))$	0,006	0,30	13,5
13	$\exp(3,29872-10,15918 \times (1/DAP))$	0,025	0,12	16,6
17	$\exp(3,244018-5,0729684 \times (1/DAP))$	0,036	0,13	10,3
Altura comercial (HC)				
11	$\exp(0,53159+13,1096 \times (1/DAP))$	0,015	0,24	26,1
13	$\exp(1,13021-2,94222 \times (1/DAP))$	0,073	0,00	35,3
17	$\exp(1,47799+0,5133 \times (1/DAP))$	0,065	0,00	41,8
Inserção de copa (IC)				
11	$9,05133-0,13141 \times DAP$	0,026	0,20	15,9
13	$\exp(2,54063-15292 \times (1/DAP))$	0,010	0,17	21,3
17	$\exp(2,14109+0,30762 \times (1/DAP))$	0,960	0,00	30,9
Diâmetro de copa (DC)				
11	$\exp(2,76786-19,498 \times (1/DAP))$	0,000	0,59	15,2
13	$-0,94866 + 0,32677 \times DAP$	0,000	0,62	15,3
17	$\exp(2,6663-16,812 \times (1/DAP))$	0,000	0,81	15,5

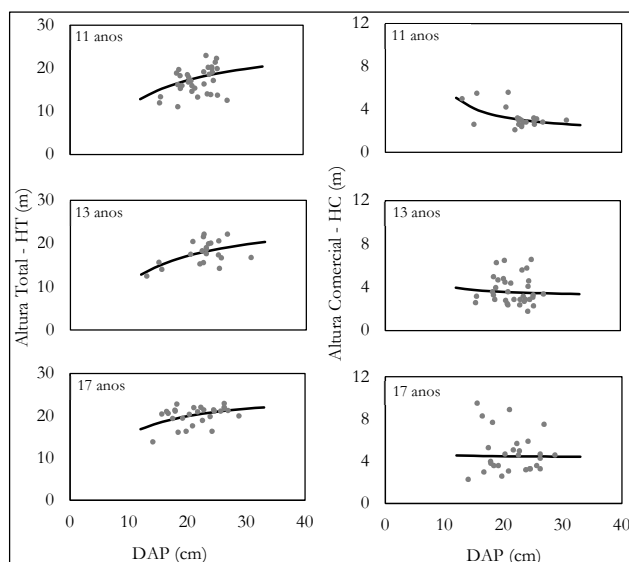


Figura 4. Ajuste de regressão para as variáveis altura total (HT) e altura comercial (HC) em função do diâmetro (DAP), para as idades de 11, 13 e 17 anos após o plantio de *Carapa guianensis*, na comunidade Sumaúma, Santarém-PA, Brasil.

Figure 4. Regression fit for the variables total height (TH) and commercial height (CH) as a function of diameter at breast height (DBH), for 11, 13, and 17-year-old *Carapa guianensis* plantations in the Sumaúma community, Santarém-PA-Brazil.

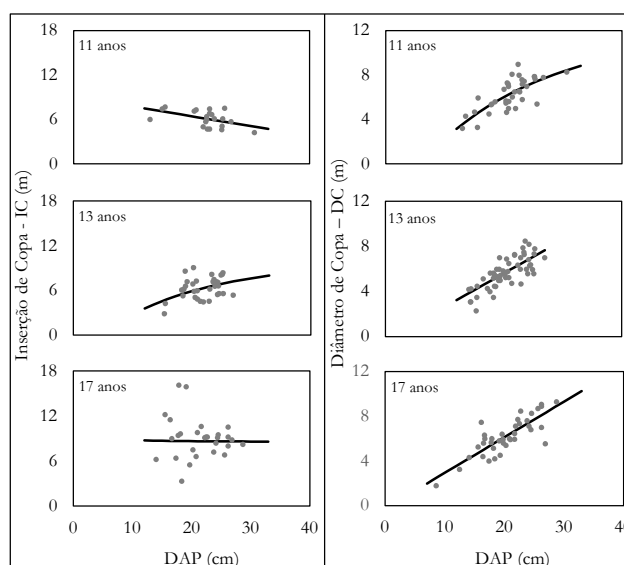


Figura 5. Ajuste de regressão para as variáveis de inserção de copa (IC) e diâmetro de copa (DC) em função do diâmetro (DAP), para as idades de 11, 13 e 17 anos após o plantio de *Carapa guianensis*, na comunidade Sumaúma, Santarém-PA, Brasil.

Figure 5. Regression fit for the variables canopy insertion height (CHI) and canopy diameter (CD) as a function of diameter at breast height (DBH), for 11, 13, and 17-year-old *Carapa guianensis* plantations in the Sumaúma community, Santarém-PA-Brazil.

Os modelos de regressão ajustados para HT em função do DAP foram estatisticamente significativos em todas as idades (11, 13 e 17 anos). No entanto, os coeficientes de determinação ajustados (R<sup>2</sup><sub>adj</sub>) foram baixos, variando de 0,12 a 0,30. O R<sup>2</sup><sub>adj</sub> decrescente com o aumento da idade sugere que essa relação tende a se estabilizar ou enfraquecer ao longo do tempo nos plantios estudados. Em relação aos ajustes de Altura Comercial (HC) e de Altura de Inserção de Copa (IC) em relação ao Diâmetro à Altura do Peito (DAP), observa-se a ausência de relação e de ajustes adequados. Os coeficientes de determinação foram baixos ou mesmo inexistentes. O erro padrão da estimativa (Syx%) aumenta com a idade, variando de 15,9% a 41,8%.

#### 4. DISCUSSÃO

A tendência observada nos resultados, em que o crescimento em altura (HT, HC, IC) continuou, enquanto o diâmetro (DAP, DC) tendeu à estabilidade após os 11 anos, sugere o início de uma competição intraespecífica, acentuada por espaço e luz. A estabilização do diâmetro de copa (DC) e do DAP, mesmo com o aumento da idade, indica que as árvores podem ter atingido o limite de expansão lateral imposto pelo espaçamento adotado (média de 5,5 m), o que leva à priorização do crescimento vertical.

Em comparação com outros estudos na Amazônia, os valores médios de DAP, HT e DC registrados em Santarém são superiores aos reportados para árvores mais jovens (7 anos), como nos trabalhos de Dünisch (2002) (DAP 13,10 cm, HT 8,97 m, DC 4,02 m), Tonini; Arco-Verde (2005) (DAP 10,5 cm, HT 9,2 m), Tonini et al. (2006) (DAP 10,3 cm, HT 9,06 m) e Silva, et al. (2018) (DAP 10,32 cm, HT 6,31 m). Esta variação dimensional reflete principalmente a diferença na idade das árvores avaliadas, sendo esperados valores maiores em plantios mais antigos, como os do presente trabalho.

A análise do Índice de Saliência (IS) aos 17 anos (30,57) revelou-se muito próxima da observada por Condé et al. (2013) em Porto Velho (IS de 34,76), onde as árvores possuíam idade semelhante (16,5 anos). Notavelmente, este valor também se assemelha ao IS de 30,68 inferido a partir do trabalho de Dünisch et al. (2002) e ao IS de 32,65 calculado a partir dos dados de Silva et al. (2018), ambos para plantios de apenas 7 anos, ainda com maior disponibilidade de espaço (3 x 3 m e 7 x 7 m, respectivamente). A convergência desses índices sugere que a *C. guianensis* tende a manter copas de 30 a 33 vezes maiores do que o diâmetro do tronco quando o ambiente permite sua expansão. Em contrapartida, este padrão diverge do IS de 14,7 relatado por Tonini; Arco-Verde (2005) para a mesma idade de 7 anos, com 2 x 2,5 m, em Roraima. Essa discrepância evidencia que o adensamento severo (5 m<sup>2</sup> árv.<sup>-1</sup> no estudo de Roraima vs. 9 a 49 m<sup>2</sup> árv.<sup>-1</sup> nos demais) suprime a expansão horizontal das copas precocemente.

Quanto às variáveis de crescimento vertical, a Proporção de Copa (PC) aos 17 anos (55,45%) mostrou-se resiliente, mantendo-se alinhada aos 56,63% observados por Condé et al. (2013) em Rondônia e aos 61,7% relatados por Tonini e Arco-Verde (2005) em Roraima. Mesmo com a estagnação do crescimento diamétrico (DAP e DC) observada após os 11 anos no presente estudo, a manutenção de uma PC acima de 50% indica que as árvores preservam sua vitalidade e sua capacidade fotossintética. Esta estabilidade arquitetônica sugere que, embora o plantio esteja sob estresse competitivo, a espécie ainda possui vigor biológico para responder positivamente a intervenções silviculturais, como o desbaste, visando à retomada do incremento de diâmetro.

A elevação da altura de inserção da copa (IC) de 6,10 m para 9,03 m entre os 11 e 17 anos, aliada ao Índice de Abrangência (IA) estabilizado em 0,3, confirma que o povoamento atingiu precocemente a saturação de espaço. Esse diagnóstico corrobora as simulações de espaço vital (EV) de Condé et al. (2013), que indicam que a andiroba necessitaria de aproximadamente 50,3 m<sup>2</sup> por árvore aos 19 anos para crescer sem competição. Como o espaçamento atual em Santarém oferece apenas 30,25 m<sup>2</sup>, as árvores entraram em competição intraespecífica intensa, resultando na queda da qualidade das copas em 15,4% da classe Excelente (Tabela 4). Tais evidências reforçam que a estagnação aos 11 anos é um reflexo do limite biológico de expansão lateral, tornando indispensável a realização de desbastes e podas sucessivas para garantir a sustentabilidade produtiva e a estabilidade do plantio

O Formal de Copa (FC), que descreve a forma geométrica da copa, apresentou médias próximas (0,56 a 0,63), indicando uma tendência para copas elípticas verticais ou colunares. Segundo Durlo; Denardi (1998), FC menores estão associados a maior produtividade. A manutenção de FC relativamente baixo, mesmo diante da competição, é uma característica positiva. No entanto, a maior variabilidade (CV%) e os valores máximos crescentes de FC com a idade sugerem uma diferenciação entre indivíduos, em que alguns podem estar ganhando espaço no povoamento, superando a competição. Para a produção de frutos e sementes, que é altamente dependente da disponibilidade e da interceptação de luz pela copa (Rockwell et al., 2015), estas árvores com copas mais expostas ou com arquitetura que favoreça a captação de luz são importantes para permanecerem no povoamento na ocasião do desbaste, visando à produção não madeireira.

A distribuição diamétrica e de altura (Figura 3) tornou-se assimétrica e mais heterogênea com a idade, afastando-se da normalidade observada aos 11 anos. Esse aumento na variabilidade e a concentração de árvores nas classes inferiores aos 13 e 17 anos são indicativos clássicos do processo de competição e diferenciação social em povoamentos florestais equiâneos (LI et al., 2024; ORDÓÑEZ et al., 2024). Em ambientes naturais de competição mais intensa, o comportamento da distribuição diamétrica se afasta da normalidade (PIRES et al., 2021; VILLACORTA et al., 2023). Isso leva à supressão de indivíduos menos vigorosos, que se concentram nas classes de menor dimensão, enquanto poucos indivíduos dominantes se destacam nas classes superiores.

A forte relação entre Diâmetro de Copa (DC) e DAP ( $R^2 > 0,59$ ), especialmente aos 17 anos ( $R^2 = 0,81$ ), é um achado importante. Essa relação robusta indica que o DAP pode ser um bom preditor do espaço ocupado pela copa, sendo útil para o planejamento de desbastes. A relação DC/DAP (Índice de Saliência - IS) manteve-se relativamente constante (média de ~0,30), sugerindo uma proporcionalidade entre o crescimento do tronco e a expansão da copa. O uso dessa relação, combinado com o monitoramento do contato entre copas (Figura 2), pode orientar a intensidade e o momento das intervenções silviculturais para gerenciar a competição.

Por outro lado, a Altura Comercial (HC) e a Altura de Inserção de Copa (IC) apresentaram baixa relação com o Diâmetro à Altura do Peito (DAP). Este comportamento também foi observado por Dionisio et al. (2017), ao avaliarem árvores de *Bertolletia excelsa*, os quais não encontraram dependência da altura comercial do fuste em relação ao DAP. Esta baixa relação, ou falta de correlação, entre HC/IC e DAP pode estar associada ao conceito de "ponto de inversão morfológica" (HALLÉ et al., 1978). Este ponto representa uma fase do desenvolvimento da árvore em que a alocação de biomassa e o padrão de crescimento são influenciados por fatores ambientais, como a competição por luz e espaço no dossel. A altura comercial (HC), que define a porção útil do tronco, tende a ser permanentemente estabelecida, em grande parte, por este momento em que a copa se abre e se expande lateralmente. Para a Altura de Inserção de Copa (IC), a tendência é semelhante. Contudo, a IC pode ter sua altura modificada ao longo do tempo devido à mortalidade natural dos galhos inferiores (processo de autodesrama, mais comum em povoamentos densos) ou por meio de intervenções silviculturais como a poda.

Em suma, os resultados morfométricos e suas relações indicam claramente que os plantios de *Carapa guianensis*, no espaçamento adotado, entram em competição intraespecífica intensa e precoce (por volta dos 11 anos). A falta de intervenções silviculturais (desbaste e poda) levou à estagnação do crescimento diamétrico, à elevação da heterogeneidade, à possível perda da qualidade das copas e ao aumento do grau de esbeltez. A forte relação DAP-DC fornece uma base técnica para orientar futuros desbastes, visando controlar a densidade e favorecer o crescimento das árvores remanescentes.

## 5. CONCLUSÕES

Os plantios homogêneos de *Carapa guianensis* apresentam desenvolvimento inicial vigoroso, porém demonstram sinais claros de competição intraespecífica a partir dos 11 anos de idade. Esse processo é evidenciado pela estabilização do

crescimento diamétrico (DAP e DC) e pelo aumento da heterogeneidade estrutural, em contraste com a continuidade do crescimento em altura (HT, HC e IC).

A competição precoce, decorrente do espaçamento adotado, impacta a arquitetura das árvores, reduzindo a proporção de copa e aumentando o grau de esbeltez, o que pode comprometer a estabilidade futura do povoamento.

A forte correlação entre o DAP e o Diâmetro de Copa (DC) valida o uso desta relação como ferramenta prática para o manejo silvicultural.

O Índice de Saliência médio em torno de 30 configura-se como um indicador do potencial biológico de expansão lateral da andiroba; a manutenção deste patamar aos 17 anos em Santarém demonstra que o espaçamento de 5,5 m atingiu seu limite crítico, evidenciando que a espécie expressou sua morfometria plena até o momento em que a competição por espaço se tornou limitante.

A espécie apresenta alta qualidade de fuste (mais de 85% de fustes retos) e excelente estado fitossanitário, o que comprova sua adaptação ecológica à região. Contudo, o declínio na qualidade das copas com o aumento da idade reflete a urgência de intervenções para mitigar a autodesrama e a perda de vitalidade competitiva.

Recomenda-se a adoção de espaçamentos iniciais superiores a 5,0 m para plantios com foco na produção de frutos e sementes. Para plantios já estabelecidos e adensados, é indispensável a implementação de desbastes e podas sucessivos, orientados pela relação DAP/DC, para garantir a estabilidade do povoamento, a sustentabilidade produtiva e o incremento diamétrico individual das árvores remanescentes.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- CONDÉ, T. M.; LIMA, M. L. M.; LIMA NETO, E.; TONINI, H. Morfometria de quatro espécies florestais em sistemas agroflorestais no município de Porto Velho, Rondônia. **Revista Agro@ambiente**, v. 7, p. 18-27, 2013. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v7i1.932>
- DIAS, K. K. B.; CARDOSO, A. L.; COSTA, A. A. F.; PASSOS, M. F.; COSTA, C. E. F.; ROCHA FILHO, G. N.; ANDRADE, E. H. A.; LUQUE, R.; NASCIMENTO, L. A. S.; NORONHA, R. C. R. Biological activities from andiroba (*Carapa guianensis* Aublet.) and its biotechnological applications: a systematic review. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 16, n. 4, e104629, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.arabj.2023.104629>
- DÜNISCH, O.; SCHWARZ, T.; NEVES, E. J. M. Nutrient fluxes and growth of *Carapa guianensis* Aubl. in two plantation systems in the central Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 166, p. 55-68, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00675-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00675-2)
- DIONISIO, L. F. S.; H. X. ARAÚJO; R. G. CORREIA; W. B. R. MARTINS; J. S. COSTA; F. C. S. MACIEL. Caracterização morfométrica de árvores solitárias de *Bertholletia excelsa* H.B.K. no sudeste de Roraima. **Agro@ambiente**, v. 11, n. 2, p. 163-173, 2017. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i2.3835>
- DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998. <https://doi.org/10.5902/19805098351>
- EVARISTO, A. P.; LENCI, L. H. V.; ROCHA, K. J.; FINGER, C. A. G.; TRONCO, K. M. Q. Morfometria de espécies florestais em área de preservação permanente na Amazônia ocidental. **Nature and Conservation**, v. 14, n. 3, p. 166-174, 2021. <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2021.003.0014>
- FONSECA, A. S. A.; MONTEIRO, I. S.; SANTOS, C. R.; CARNEIRO, M. L. B.; MORAIS, S. S.; ARAÚJO, P. L.; SANTANA, T. F.; JOANITTI, G. A. Effects of andiroba oil (*Carapa guianensis* Aubl.) on the immune system in inflammation and wound healing: a scoping review. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 327, e118004, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2024.118004>
- GAMA, J. R. N. F.; M. A. VALENTE; R. C. DE OLIVEIRA JÚNIOR; M. DA S. CRAVO; E. J. M. CARVALHO; T. E. RODRIGUES. Solos do Estado do Pará. In: BRASIL, E. C.; M. DA S. CRAVO; I. DE J. M. Viegas (Eds.). **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2020. p. 25-46.
- HALLÉ, F.; OLDEMAN, R. A. A.; TOMLINSON, P. B. **Tropical trees and forests: an architectural analysis**. Berlin: Springer-Verlag, 1978. 441p.
- HESS, A. F.; DEMÉTRIO, L.; SOUSA, A. N.; COSTA, E. A.; LIESENBERG, V.; BIFFI, L. J.; FINGER, C. A. G.; BORSOI, G. A.; STEPKA, T. F.; RANSONI, J. G. R. L.; SILVA, E. I. M.; FERREIRA, M. B.; BISPO, P. C. Sustainability assessment of araucaria forest remnants in Southern Brazil: insights from traditional forest inventory surveys. **Sustainability**, v. 16, n. 8, e3361, 2024. <https://doi.org/10.3390/su16083361>
- LI, X.; DUAN, A.; ZHANG, J. Influence of stand density, site, age, and competition on the timber assortment structure of Chinese fir plantations. **Scientific Reports**, v. 14, e29056, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79411-1>
- MACHADO, I. R.; MENDES, K. R. Estudo etnobotânico, médico, terapêutico e farmacológico de *Carapa guianensis* Aubl. – Uma revisão. **Biodiversidade Brasileira**, v. 11, n. 1, p. 74-85, 2021. <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v11i1.1695>
- MARSHALL, A.; NELSON, C. R.; HALL, J. S. Species selection and plantation management in enrichment planting with native timber species in the Panama Canal watershed. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 5, n. 1, e925877, 2022. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.925877>
- OLIVEIRA, R. G.; SOUZA, A. S.; SANTOS, V. A. H. F.; LIMA, R. M. B.; FERREIRA, M. J. Long-term effects of plant spacing on the growth and morphometry of *Bertholletia excelsa*. **Acta Amazonica**, v. 51, n. 3, p. 191-200, 2021. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202003611>
- ORDÓÑEZ, C.; MAGUIRE, D. A.; PANDO, V.; BRAVO, F. Stand structural effects on growth distribution and growth efficiency in Scots pine and Mediterranean pine stands in Spain. **European Journal of Forest Research**, v. 143, p. 1411-1428, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10342-024-01698-6>

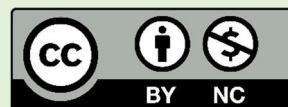
- PIRES, J. D.; OLIVEIRA, T. G.; SILVA, E. F. Growth modeling of *Carapa guianensis* and *Tetragastris altissima* for improved management in native forests in the Amazon. **Ecological Modelling**, v. 440, e109390, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10342-024-01698-6>
- REIS, L. H. V.; ROCHA, L. F.; SANTOS, J. A.; SOUZA, C. R.; TRAZZI, P. A.; BARBOSA, L. O.; CARVALHO, D. Morphometric characterization of *Khaya senegalensis* in southern Minas Gerais state, Brazil. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 131, e3594, 2021. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n131.16>
- REIS, H. D.; MIRANDA, D. L. C.; FRANÇA, L. C. J.; STEPKA, T. F.; CONDÉ, T. M.; ZAIDAN, U. R.; LISBOA, G. S. Amazon forest morphometry on the tree management of the second harvest cycle. **Tree Dimensional Journal**, v. 9, p. 1-12, 2022. <https://doi.org/10.55746/treed.2022.12.009>
- ROCKWELL, C. A.; GUARIGUATA, M. R.; MENTON, M.; QUISPE, E. A.; QUAEDVLIEG, J.; WARRENTHOMAS, E.; SILVA, H. F.; ROJAS, E. E. J.; ARRUNÁTEGUIL, J. A. H. K.; VEGA, L. A. M.; VERA, O. R.; HANCCO, R. Q.; TITO, J. F. V.; PANDURO, B. T. V.; SALAS, J. J. Y. Nut Production in *Bertholletia excelsa* across a Logged Forest Mosaic: Implications for Multiple Forest Use. **Plos One**, v. 10, n. 8, e0135464, 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135464>
- ROSENFELD, T.; POKORNY, B.; MARCOVITCH, J.; POSCHEN, P. Local development based on non-timber forest products: Revisiting the case of São Francisco do Itatapuru in the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, v. 242, e108894, 2026. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2025.108894>
- ROSENFELD, T.; POKORNY, B.; MARCOVITCH, J.; POSCHEN, P. BIOECONOMY based on non-timber forest products for development and forest conservation - untapped potential or false hope? A systematic review for the Brazilian amazon. **Forest Policy and Economics**, v. 163, e103228, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2024.103228>
- TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 7, p. 633-638, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000700002>
- TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F.; SCHWENGBER, D.; MOURÃO JÚNIOR, M. Avaliação de espécies florestais em área de mata no estado de Roraima. **Cerne**, v. 12, n. 1, p. 8-18, 2006.
- SALAZAR, R.; ALEGRE, J.; PIZARRO, D.; DUFF, A. J.; GARCÍA, C.; GÓMEZ, C. Soil carbon stock potential in pastoral and silvopastoral systems in the Peruvian Amazon. **Agroforestry Systems**, v. 98, p. 2157-2167, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-00969-w>
- SHENKIN, A.; BENTLEY, L. P.; OLIVERAS, I.; SALINAS, N.; ADU-BREDU, S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; MARIMON, B. S.; PEPRAH, T.; CHOQUE, E. L.; RODRIGUEZ, L. T.; ARENAS, E. R. C.; ADONTENG, C.; SEIDU, J.; PASSOS, F. B.; REIS, S. M.; BLONDER, B.; SILMAN, M.; ENQUIST, B. J.; ASNER, G. P.; MALHI, Y. The influence of ecosystem and phylogeny on tropical tree crown size and shape. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 3, e501757, 2020. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.501757>
- SILVA, E. C.; GAMA, J. R. V.; RODE, R.; COELHO, A. L. M. Tree species' growth in a silvopastoral system in Amazon. **African Journal of Agricultural Research**, v. 13, n. 3, p. 95-103, 2018. <https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12736>
- VILLACORTA, C. D. A.; GOMES, H. S. R.; GUEDES, M. C.; TOLEDO, J. J. Size and crown shape predict reproductive maturity of *Carapa guianensis* in upland and floodplain forests in the northeastern Amazon. **Biotropica**, v. 55, n. 5, p. 1157-1168, 2023. <https://doi.org/10.1111/btp.13256>

**Agradecimentos:** Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Pará (Fapespa) pelo apoio financeiro concedido à realização deste estudo, no âmbito do Edital N° 001/2016 – Apoio ao Desenvolvimento de Redes de Pesquisa nas Regiões de Integração do Baixo Amazonas – INTERPARÁ I (ICCAF N° 002/2018). Agradecemos especialmente a parceria do proprietário rural, Sr. Adamor dos Santos, e de seus familiares, por disponibilizarem sua propriedade na comunidade Sumaúma, em Santarém-PA, para a realização das atividades de pesquisa e extensão.

**Contribuições dos autores:** K.S.F.: conceitualização, metodologia, investigação, coleta de dados, redação (original), redação (revisão e edição); R.R.: conceitualização, investigação, redação (original), análise estatística, administração ou supervisão; T.G.S.O.: redação (original), redação (revisão e edição); D.P.: coleta de dados, redação (original), redação (revisão e edição). Todos os autores leram e aprovaram a versão publicada do manuscrito.

**Disponibilidade de dados:** Os dados desta pesquisa poderão ser obtidos por e-mail, mediante solicitação ao autor correspondente ou ao segundo autor.

**Conflito de interesses:** Os autores declaram não haver conflitos de interesse.



**Copyright:** © 2026 by the authors. This article is an Open-Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons **Attribution-NonCommercial (CC BY-NC)** license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).