

QUAIS SÃO OS LIMITES DO MANEJO SUSTENTÁVEL DE CARAPA GUIANENSIS AUBL.? UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE 25 ANOS DE PESQUISA

WHAT ARE THE LIMITS OF SUSTAINABLE MANAGEMENT OF CARAPA
GUIANENSIS AUBL.? A SYSTEMATIC REVIEW OF 25 YEARS OF RESEARCH

Ciências Agrárias • 18/08/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/787023867](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/787023867)

Sarah Magalhães Dias¹

Chrsyler Gabriel Santos Oliveira²

Rafaela Araújo Silva³

Sarah Gabriela do Prado Cardoso Vancin⁴

Laura Rodrigues Cruvinel⁵

RESUMO

A presente revisão sistemática sintetiza e avalia criticamente a produção científica sobre o manejo florestal sustentável de *Carapa guianensis* Aubl. (Meliaceae), conhecida como andiroba, espécie arbórea amazônica de uso múltiplo valorizada pela madeira e pelo óleo de suas sementes. O objetivo foi identificar avanços, lacunas e limites para o manejo sustentável da espécie a partir da literatura publicada entre 2000 e 2025. A busca foi conduzida nas bases *Web of Science*, *Scopus* e *ScienceDirect*, com 362 registros iniciais. A aplicação sequencial dos critérios de exclusão (remoção de duplicatas, leitura de resumos e exclusão de artigos exclusivamente voltados à caracterização química ou farmacológica) reduziu o corpus final a 70 artigos. O ranqueamento foi realizado pelo método *InOrdinatio* (*Methodi Ordinatio*), que integra fator de impacto do periódico, número de citações e ano de publicação, e a análise bibliométrica foi conduzida com o pacote *bibliometrix* no R. A síntese narrativa, organizada em nove eixos temáticos, revela que a viabilidade da exploração combinada de sementes e madeira depende do tipo florestal, sendo sustentável em florestas de várzea, mas inviável a longo prazo em terra firme. Foram identificadas como lacunas prioritárias a ausência de estudos de longo prazo sobre dinâmica populacional sob ciclos sucessivos de exploração, a carência de calibração regional dos ciclos de corte e a escassez de pesquisas sobre produção de mudas em escala. A superação dessas lacunas constitui condição essencial para consolidar *C. guianensis* como espécie-modelo de manejo florestal multiuso na Amazônia.

Palavras-chave: Amazônia; andiroba; produtos florestais não madeireiros.

ABSTRACT

This systematic review synthesizes and critically evaluates the

scientific literature on the sustainable forest management of *Carapa guianensis* Aubl. (Meliaceae), commonly known as andiroba or crabwood, a multiple-use Amazonian tree species valued for its timber and seed oil. The aim was to identify advances, gaps, and limits for the sustainable management of the species based on the literature published between 2000 and 2025. The search was conducted in the Web of Science, Scopus, and ScienceDirect databases, yielding 362 initial records. The sequential application of exclusion criteria (duplicate removal, abstract screening, and exclusion of articles focused exclusively on chemical or pharmacological characterization) reduced the final corpus to 70 articles. Ranking was performed using the InOrdinatio method (Methodi Ordinatio), which integrates journal impact factor, citation count, and publication year, and the bibliometric analysis was conducted using the bibliometrix package in R. The narrative synthesis, organized into nine thematic axes, shows that the viability of combined seed and timber harvesting depends on forest type, being sustainable in seasonally flooded (várzea) forests but unfeasible in the long term in upland (terra firme) forests. The priority gaps identified were the lack of long-term studies on population dynamics under successive harvesting cycles, the absence of regional calibration of cutting cycles, and the scarcity of research on large-scale seedling production. Addressing these gaps is essential to consolidate *C. guianensis* as a model species for multiple-use forest management in Amazonia.

Keywords: Amazonia; andiroba; non-timber forest products.

1. INTRODUÇÃO

Deve-se A Amazônia abriga a maior diversidade de espécies arbóreas do planeta, muitas delas com potencial simultâneo para

exploração madeireira e não madeireira. Entre os produtos florestais não madeireiros (PFNMs) amazônicos, os óleos vegetais extraídos de espécies nativas ocupam posição de destaque na economia de comunidades tradicionais, contribuindo para a geração de renda e para a manutenção de modos de vida associados à floresta em pé. Nesse cenário, o manejo sustentável de espécies de uso múltiplo constitui um dos principais desafios para conciliar conservação da biodiversidade e desenvolvimento socioeconômico na região (Herrero-Jáuregui *et al.*, 2013; Schwartz *et al.*, 2012).

Carapa guianensis Aubl. (Meliaceae), popularmente conhecida como andiroba, é uma das espécies multiuso mais representativas da Amazônia. Distribui-se amplamente na América tropical, da América Central ao norte da América do Sul, com particular abundância na bacia amazônica, onde coloniza florestas de terra firme e ambientes periodicamente inundados, como várzeas e igapós (Klimas *et al.*, 2012). Sua madeira, de qualidade comparável à do mogno, é valorizada no mercado madeireiro regional (Bauch; Dünisch, 2000), e o óleo extraído das sementes tem longo histórico de uso por populações tradicionais como anti-inflamatório, cicatrizante e repelente de insetos (Nardi *et al.*, 2016; Ferreira *et al.*, 2019).

A partir dos anos 2000, a produção científica sobre a espécie expandiu-se de forma expressiva, abrangendo ecologia populacional (Klimas *et al.*, 2012; Dantas *et al.*, 2016), diversidade genética (Cloutier *et al.*, 2007; Campos *et al.*, 2013), fisiologia e resposta a estresses ambientais (Costa; Marengo, 2007; Ribeiro *et al.*, 2023), manejo florestal e exploração de impacto reduzido (Schwartz *et al.*, 2012; Pires *et al.*, 2021), produção de mudas e silvicultura (Dünisch *et al.*, 2002; Souza *et al.*, 2010), restauração ecológica (Martorano *et al.*, 2025) e usos tradicionais do óleo de sementes (Nardi *et al.*, 2016).

Esse conjunto de estudos revela uma espécie ecologicamente versátil, com plasticidade fisiológica frente a variações de luz e disponibilidade hídrica (Gonçalves *et al.*, 2010) e sistema misto de reprodução com predominância de alogamia (Cloutier *et al.*, 2007), atributos que a tornam promissora para estratégias integradas de manejo e conservação.

Apesar desses avanços, o conhecimento permanece fragmentado entre áreas disciplinares distintas (ecologia, genética, silvicultura e fitoquímica), sem uma síntese integradora que avalie o estado da arte sob a perspectiva específica do manejo florestal sustentável. Revisões narrativas anteriores, ainda que relevantes, não adotaram protocolos reprodutíveis de busca e seleção, o que restringe sua capacidade de identificar lacunas de forma estruturada. Questões centrais para a tomada de decisão em manejo seguem insuficientemente respondidas, entre elas os limites de sustentabilidade da exploração combinada de sementes e madeira em diferentes tipos florestais, a calibração regional dos ciclos de corte e a viabilidade de produção de mudas em escala para programas de restauração.

A adoção de métodos de revisão sistemática associados ao ranqueamento bibliométrico pelo *Methodi Ordinatio* (Pagani *et al.*, 2015) permite superar essas limitações, ao integrar de forma objetiva o fator de impacto dos periódicos, o número de citações e a atualidade dos artigos, priorizando os estudos de maior relevância científica. Combinado à análise bibliométrica com o pacote *bibliometrix* (Aria; Cuccurullo, 2017), esse ranqueamento viabiliza tanto a síntese do conhecimento acumulado quanto a identificação de tendências temporais, redes de colaboração e lacunas temáticas capazes de orientar pesquisas futuras.

Diante disso, este trabalho teve como objetivo sintetizar e avaliar criticamente a produção científica sobre *Carapa guianensis* publicada entre 2000 e 2025, por meio de revisão sistemática da literatura com aplicação do *Methodi Ordinatio*, identificando avanços consolidados, lacunas persistentes e limites para o manejo florestal sustentável da espécie na Amazônia.

2. METODOLOGIA

2.1. Tipo de Pesquisa

A pesquisa caracteriza-se como revisão sistemática da literatura, de natureza exploratória e descritiva, com abordagem quantitativa (análise bibliométrica) e qualitativa (síntese narrativa). Foram adotadas as diretrizes PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Page *et al.*, 2021) e o método *Methodi Ordinatio* (Pagani *et al.*, 2015) para o ranqueamento dos artigos selecionados.

2.2. Bases de Dados, Estratégia de Busca e Critérios

A busca foi conduzida em três bases indexadas: *Web of Science*, *Scopus* e *ScienceDirect*. O período de cobertura compreendeu janeiro de 2000 a dezembro de 2025 (Figura 1). As expressões de busca, adaptadas à sintaxe de cada base, foram as seguintes: ("Carapa guianensis" OR andiroba) AND ("sustainable forest management" OR "forest management" OR silviculture OR "multiple-use management") AND (sustainab* OR harvest* OR extraction OR logging OR seed* OR fruit* OR timber OR "non-timber forest product*" OR NTFP*).

Figura 1. Critérios de busca e filtros adotados na revisão sistemática de literatura sobre *Carapa guianensis* Aubl.



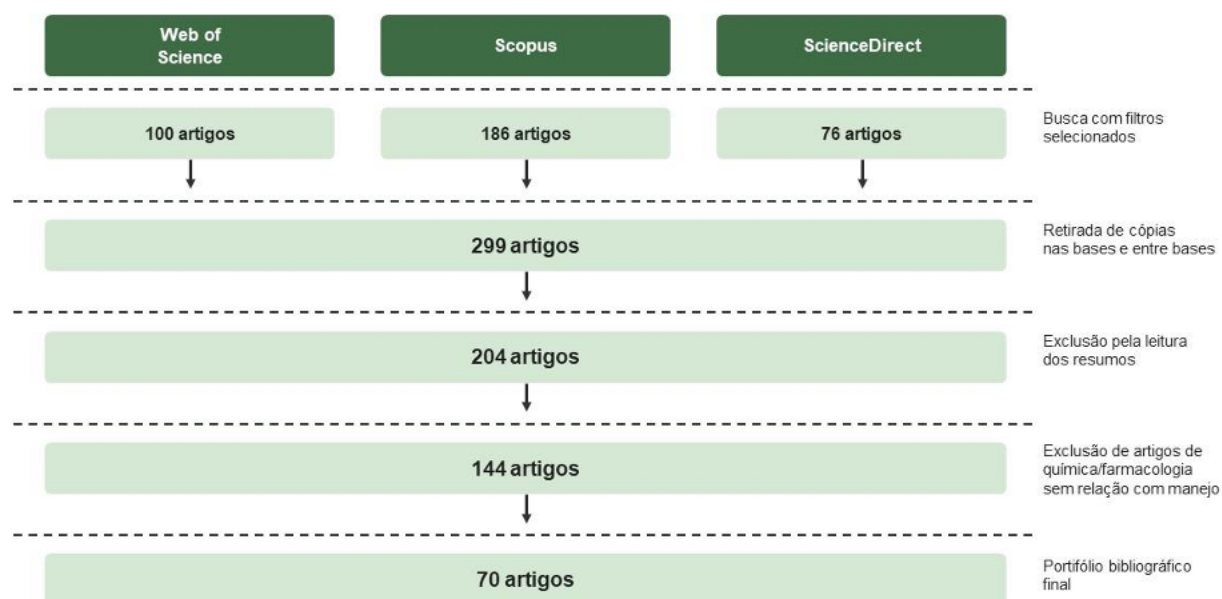
Como filtros adicionais foram aplicados: tipo de documento (artigos originais), idiomas (inglês, português e espanhol) e intervalo de publicação (2000 a 2025). Foram incluídos artigos originais publicados em periódicos indexados que abordassem *C. guianensis* nos temas de ecologia, manejo florestal, regeneração natural, conservação, silvicultura, usos tradicionais ou potencial econômico.

Os critérios de exclusão foram aplicados sequencialmente: (i) artigos de revisão, editoriais, capítulos de livro, teses e dissertações; (ii) registros duplicados entre as bases, identificados e removidos com a função *duplicatedMatching* do pacote *bibliometrix* no ambiente R; (iii) artigos sem relação com a espécie-alvo, descartados por leitura de títulos e resumos; e (iv) artigos cujo foco principal era exclusivamente a caracterização química, farmacológica ou biotecnológica do óleo ou de extratos de *C. guianensis*, sem relação direta com ecologia, manejo, regeneração, conservação ou silvicultura. A aplicação sequencial desses critérios resultou em 70 artigos na base final (Figura 2).

2.3. Ranqueamento Pelo Methodi Ordinatio (InOrdinatio)

Os 70 artigos da base final foram submetidos ao ranqueamento pelo índice *InOrdinatio*, conforme proposto por Pagani *et al.* (2015). O índice integra três critérios objetivos para hierarquizar a relevância dos artigos: o fator de impacto do periódico (FI), o número de citações do artigo (Ci) e o ano de publicação (Ano_Artigo), calculados segundo a fórmula: $InOrdinatio = (FI/1000) + \alpha \times [10 - (Ano_Pesq - Ano_Artigo)] + Ci$, em que α corresponde ao peso atribuído à temporalidade (adotado $\alpha = 10$) e Ano_Pesq ao ano de realização da pesquisa (2025). O cálculo foi operacionalizado na planilha *RankIn*, que automatiza a aplicação do índice a partir dos dados bibliográficos extraídos das bases. Os artigos com maior pontuação em cada eixo temático foram priorizados na síntese narrativa.

Figura 2. Fluxograma de seleção dos artigos nas etapas no refinamento da revisão sistemática sobre *Carapa guianensis* Aubl.



2.4. Análise Bibliométrica

A análise bibliométrica foi conduzida com o pacote *bibliometrix*, versão 4.4.3 (Aria; Cuccurullo, 2017), no ambiente *RStudio*. Foram calculados os seguintes indicadores: evolução temporal das publicações, periódicos e autores mais produtivos, frequência de

palavras-chave (nuvem de palavras e rede de coocorrência), colaboração entre países e distribuição dos artigos por eixo temático. Os artigos foram classificados em nove eixos temáticos derivados das questões norteadoras, com base na leitura do título e do resumo: (1) distribuição e fatores ambientais; (2) biologia reprodutiva, regeneração e dispersão; (3) fisiologia e mudanças climáticas; (4) diversidade genética; (5) manejo florestal e exploração; (6) produção de mudas e silvicultura; (7) restauração ecológica; (8) ameaças, pragas e conservação; e (9) usos, química e economia.

2.5. Síntese Narrativa

A síntese narrativa foi organizada nos nove eixos temáticos, priorizando os artigos de maior pontuação *InOrdinatio* em cada eixo e complementando com estudos de relevância específica ao tema. Os resultados foram integrados de modo a identificar convergências, lacunas e perspectivas para o manejo florestal sustentável de *C. guianensis*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Panorama Bibliométrico Geral

A aplicação sequencial dos critérios de inclusão e exclusão resultou em 70 artigos publicados entre 2000 e 2025, distribuídos em 41 periódicos, produzidos por 304 autores e indexados por 272 palavras-chave. Esses números indicam uma base de conhecimento relativamente ampla para uma espécie tropical individual, embora com produção dispersa entre muitos periódicos e autores, o que reflete o caráter multidisciplinar da pesquisa sobre *C. guianensis* e a ausência de um grupo dominante no campo.

A média de 4,3 autores por artigo é compatível com o padrão de colaboração em ecologia e manejo florestal tropical, no qual a complexidade logística do trabalho de campo na Amazônia demanda equipes numerosas. A razão de 1,7 artigos por periódico revela dispersão significativa da produção, o que dificulta a consolidação de linhas editoriais voltadas ao manejo da espécie e sugere que o tema ainda não atingiu massa crítica para sustentar edições temáticas ou dossiês dedicados.

A aplicação do *Methodi Ordinatio* ao portfólio permitiu estabelecer um *ranking* de relevância científica considerando simultaneamente fator de impacto, número de citações e ano de publicação. Os 10 artigos com maior índice *InOrdinatio* são apresentados na Tabela 1 e abrangem áreas diversas, incluindo fisiologia vegetal, biotecnologia e química de produtos naturais, silvicultura e produção de mudas, genética e delimitação de espécies, o que reforça o caráter multidisciplinar do campo.

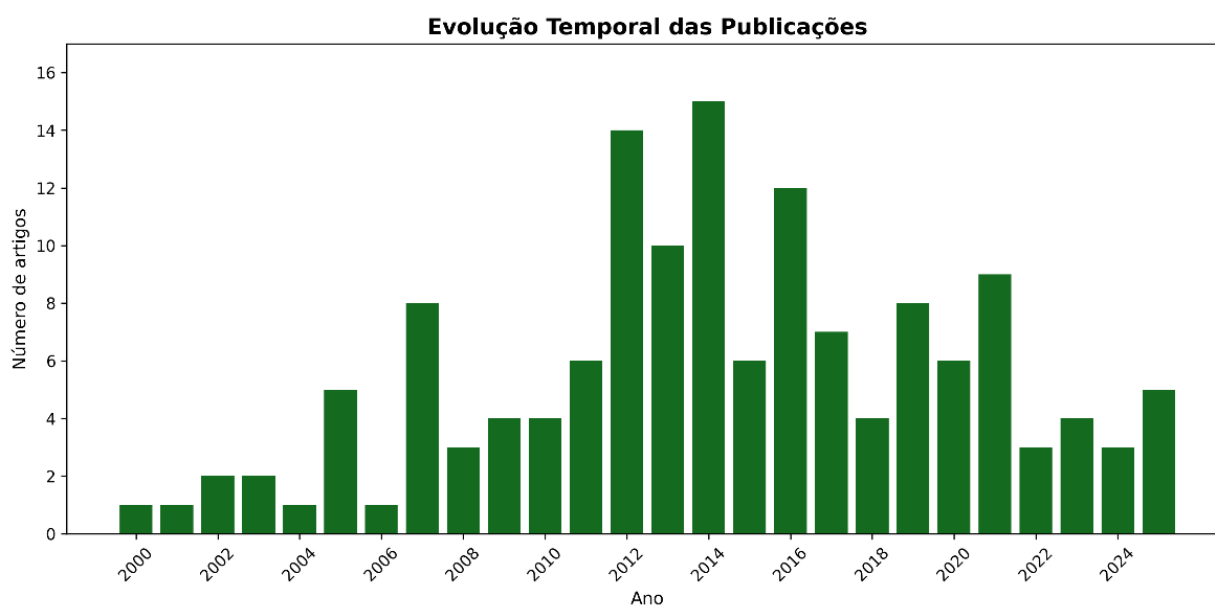
Tabela 1. Ranking dos 10 artigos mais relevantes do portfólio bibliográfico pelo *Methodi Ordinatio*.

Ranking	Autores	Ano	Título do artigo	Periódico	FI
1	Herrero-Jáuregui et al.	2013	Assessing the extent of "conflict of use" in multipurpose tropical forest trees: a	Journal of Environmental Management	13,7

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/quais-sao-os-limites-do-manejo-sustentavel-de-carapa-guianensis-aubl-uma-revisao-sistemica-de-25-anos-de-pesquisa?noblockage>

Destaca-se ainda a predominância de artigos publicados entre 2023 e 2025 no topo do ranking, reflexo do peso atribuído à atualidade no cálculo do índice ($\alpha = 10$) e da renovação temática recente da pesquisa sobre a espécie. A evolução temporal da produção (Figura 3) permite identificar três fases. A primeira (2000-2006) caracteriza-se por produção incipiente, com menos de dois artigos por ano, restrita a grupos pioneiros voltados à anatomia da madeira (Bauch; Dünisch, 2000) e à genética populacional (Degen *et al.*, 2001; Cloutier *et al.*, 2005).

Figura 3. Evolução temporal das publicações sobre *Carapa guianensis* (2000-2025).

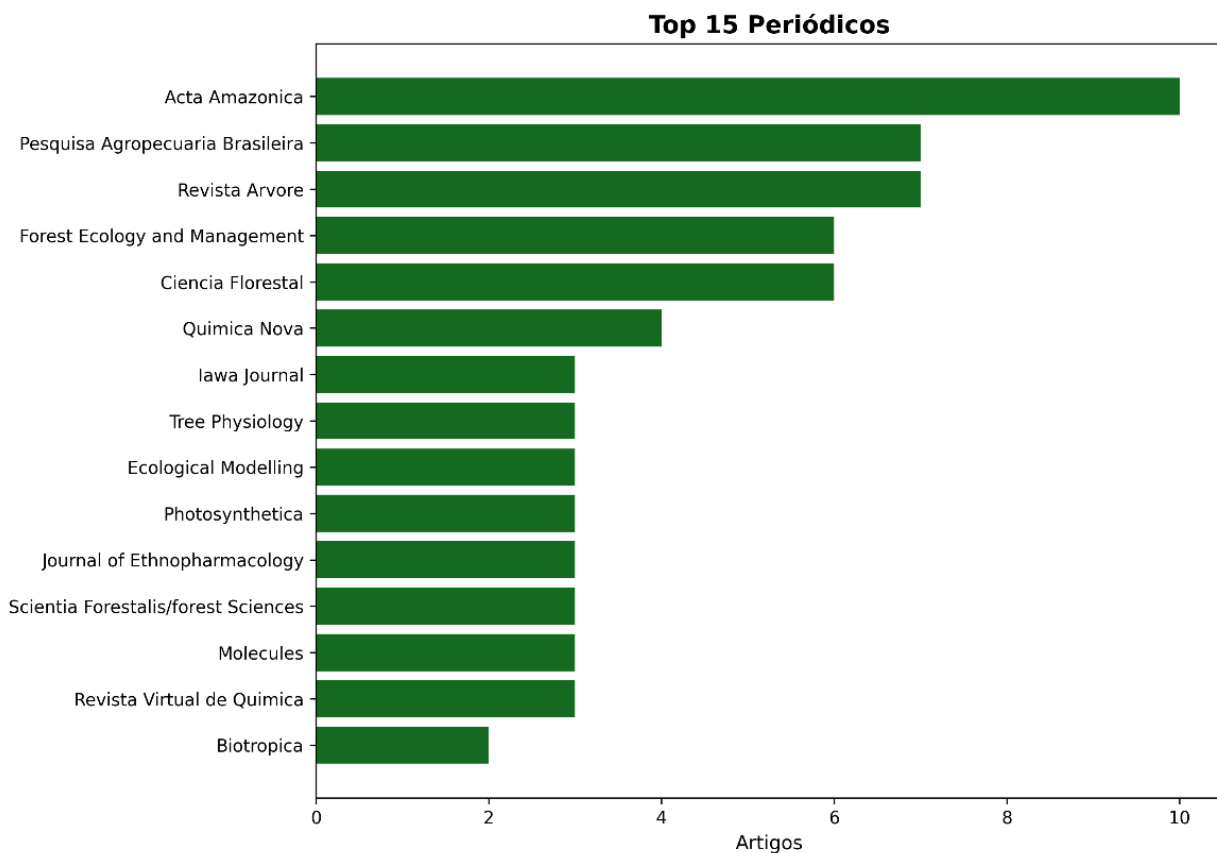


A segunda fase (2007-2019) corresponde à expansão da pesquisa, com pico em 2014, coincidindo com estudos seminais sobre modelos populacionais de manejo (Klimas *et al.*, 2012), viabilidade econômica da exploração combinada e dinâmica de regeneração pós-exploração (Schwartz *et al.*, 2012). A terceira fase (2020-2025)

apresenta oscilações interanuais, com pico local em 2021 e retração nos anos seguintes: a queda observada a partir de 2022 pode estar associada às restrições de trabalho de campo durante a pandemia de COVID-19, enquanto a manutenção de níveis moderados de publicação até 2025 indica a consolidação de linhas temáticas em torno da fisiologia adaptativa (Ribeiro *et al.*, 2023), do zoneamento topoclimático (Martorano *et al.*, 2025) e da genômica aplicada à rastreabilidade (Gonçalves *et al.*, 2025).

Os 15 periódicos com maior número de publicações (Figura 4) refletem a natureza multidisciplinar da pesquisa sobre a espécie. A presença simultânea de periódicos de ciências florestais (*Forest Ecology and Management*, *Ciência Florestal*, *Revista Árvore*, *Scientia Forestalis*), de ecologia amazônica (*Acta Amazonica*, *Biotropica*), de fisiologia vegetal (*Tree Physiology*, *Photosynthetica*) e de química de produtos naturais (*Molecules*, *Química Nova*) demonstra que o conhecimento sobre a espécie se constrói na interface entre disciplinas. Essa dispersão enriquece a compreensão da espécie, mas dificulta o acesso integrado à informação por gestores florestais e tomadores de decisão, que tendem a consultar periódicos restritos à sua área de atuação.

Figura 4. Top 15 periódicos com maior número de publicações sobre *Carapa guianensis*.

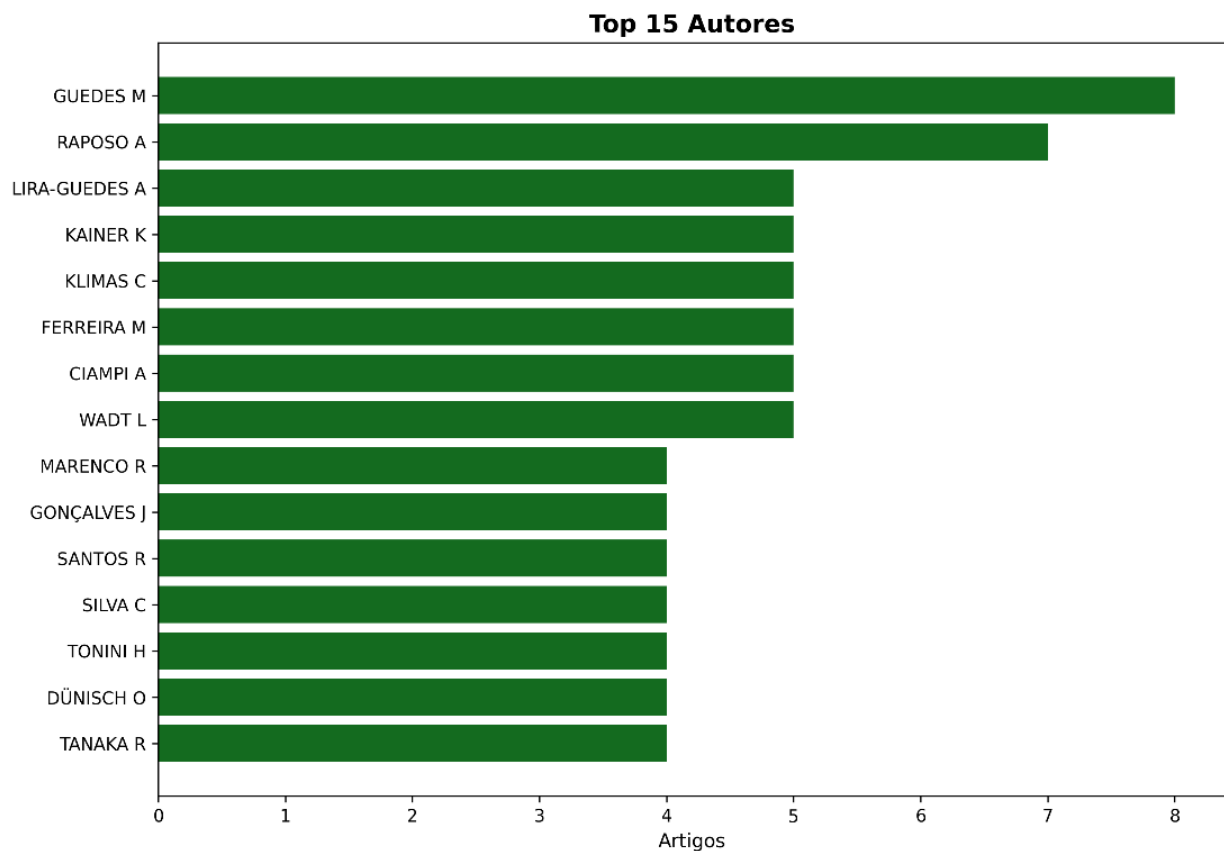


A concentração de publicações em periódicos brasileiros (*Acta Amazonica*, *Ciência Florestal*, *Revista Árvore*) confirma o protagonismo de grupos de pesquisa nacionais, o que é coerente com a distribuição geográfica da espécie. A presença de periódicos internacionais de alto fator de impacto indica, contudo, que a produção alcança visibilidade global, favorecendo colaborações internacionais.

A análise dos autores mais produtivos (Figura 5) revela produção relativamente dispersa, com os pesquisadores mais prolíficos contribuindo entre quatro e oito artigos. Esse padrão contrasta com o de espécies de uso industrial consolidado, no qual poucos grupos especializados concentram a maior parte da produção, e reforça a interpretação de que *C. guianensis* ainda carece de uma comunidade científica coesa e integrada em torno do tema do manejo sustentável.

A análise por país de afiliação confirma a predominância brasileira, seguida por Estados Unidos, França, Alemanha e Japão. A participação norte-americana concentra-se em estudos de modelagem populacional e viabilidade econômica (Klimas *et al.*, 2012); a contribuição francesa associa-se a estudos genéticos e filogeográficos conduzidos na Guiana Francesa (Degen *et al.*, 2001; Scotti-Saintagne *et al.*, 2013; Tysklind *et al.*, 2019); a alemã reflete tradição de pesquisa em anatomia e fisiologia da madeira (Bauch; Dünisch, 2000; Dünisch *et al.*, 2002); e a japonesa contribuiu com estudos genéticos e filogenéticos. A colaboração internacional mostrou-se particularmente relevante em estudos genéticos que exigem amostragem em escala continental. A presença de Guiana, Suriname e Colômbia na rede de colaboração reflete a necessidade de abordagens comparativas entre populações de diferentes regiões amazônicas, tanto para compreender a variabilidade genética quanto para definir unidades de conservação geneticamente representativas.

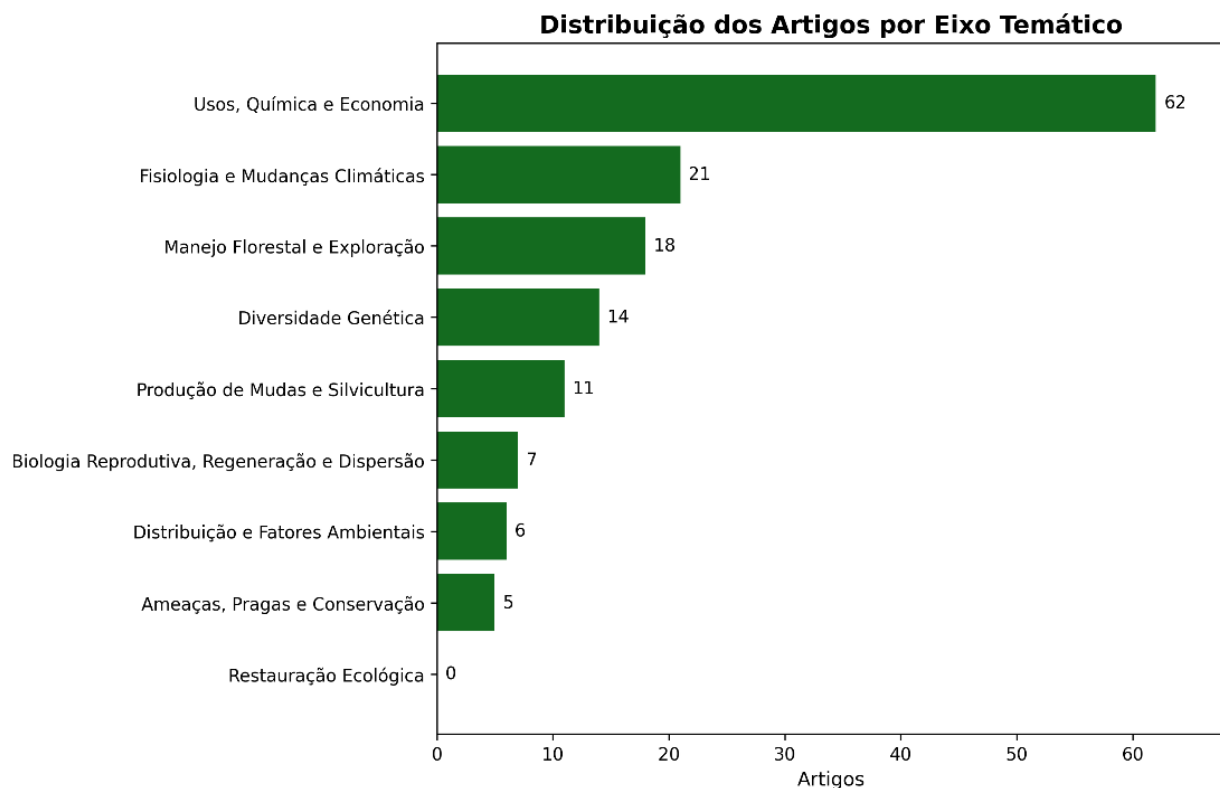
Figura 5. Top 15 autores mais produtivos em pesquisas sobre *Carapa guianensis*.



3.2. Estrutura Temática do Campo: Palavras-Chave e Eixos de Pesquisa

A nuvem de palavras-chave (Figura 6) evidencia a dualidade temática que caracteriza a pesquisa sobre a espécie. Os termos ecológicos e de manejo (*forest management, seeds, regeneration, sustainability, forest structure, gene flow*) coocorrem com termos de uso e valoração (*limonoids, oil, bioactive compounds, medicinal plants, non-timber forest products*).

A coocorrência de "*sustainable use*" com "*forest management*" e "*timber*" confirma, no plano semântico, que a pesquisa reconhece a andiroba como espécie intrinsecamente multiuso, cuja conservação está vinculada à viabilidade econômica de seus produtos. A presença crescente de termos fisiológicos (*photosynthesis, stomatal conductance, water deficit*) aponta uma linha de investigação em expansão, cuja relevância tende a aumentar diante dos cenários de seca mais frequente e severa projetados pelo IPCC para a Amazônia.



Os eixos com menor representação merecem atenção especial. “Biologia Reprodutiva, Regeneração e Dispersão”, “Distribuição e Fatores Ambientais” e “Ameaças, Pragas e Conservação” reúnem, respectivamente, quatro, quatro e três artigos. O achado mais expressivo, contudo, é a ausência de estudos que tenham a restauração ecológica como foco central: nenhum dos 70 artigos analisados aborda a restauração como objeto principal, e o tema aparece apenas como aplicação derivada em estudos de manejo, distribuição ou fisiologia (Coelho-Silva *et al.*, 2024; Martorano *et al.*, 2025). Essa lacuna é crítica porque a restauração de áreas degradadas com espécies multiuso é uma das estratégias mais promissoras para a bioeconomia amazônica, conforme apontado pelo zoneamento de Martorano *et al.* (2025). A escassez de estudos sobre biologia reprodutiva e dispersão compromete, adicionalmente, a compreensão dos mecanismos que garantem a renovação populacional após ciclos de exploração, aspecto central para o manejo sustentável de longo prazo.

3.3. Síntese Narrativa dos Eixos Temáticos

3.3.1. Distribuição Geográfica e Biologia Reprodutiva

C. guianensis ocorre naturalmente em ampla faixa da América tropical, da América Central ao norte da América do Sul, com particular abundância na bacia amazônica, onde coloniza florestas de terra firme e ambientes periodicamente inundados (várzeas e igapós) (Klimas *et al.*, 2007). A espécie é caracteristicamente associada a solos hidromórficos ou sazonalmente encharcados, o que se reflete em sua fisiologia: Lopez *et al.* (2005) demonstraram que, entre nove espécies tropicais estudadas quanto à vulnerabilidade do xilema à cavitação, *C. guianensis* figurou entre as mais vulneráveis (P50 entre -0,8 e -1,6 MPa), padrão típico de espécies adaptadas a solos encharcados e com baixa exposição a déficits hídricos severos ao longo de sua história evolutiva.

Estudos de modelagem de distribuição geográfica baseados em sensoriamento remoto indicam que a ocorrência da espécie está fortemente associada a variáveis de umidade da vegetação, cobertura florestal densa e índices de área foliar elevados mesmo durante a estação seca, com áreas de menor elevação e vegetação mais exuberante favorecendo sua presença (Prates-Clark *et al.*, 2008). Mais recentemente, Martorano *et al.* (2025) desenvolveram um zoneamento topoclimático integrando variáveis topográficas e climáticas para identificar áreas de alto potencial para *C. guianensis*, *Dipteryx odorata* e *Bertholletia excelsa* na Amazônia brasileira, constatando que a andiroba apresenta potencial elevado em 64% das áreas antropizadas avaliadas, o que reforça sua adequação a estratégias de zoneamento para restauração e manejo agroflorestal alinhadas à legislação de pagamento por serviços ambientais.

Em nível de população, a densidade e a estrutura demográfica da espécie variam conforme o tipo florestal: Klimas *et al.* (2007) registraram densidades de indivíduos adultos (≥ 10 cm de DAP) de 25,7 árvores/ha em florestas ocasionalmente inundadas, contra 14,6 árvores/ha em floresta de terra firme, com tendência de distribuição espacial agregada em ambos os ambientes. Padrão semelhante foi descrito por Guarino *et al.* (2014) para populações do sudoeste amazônico e por Tonini *et al.* (2009) para uma população monitorada no sul de Roraima, que também identificaram distribuição diamétrica em "J invertido", típica de populações em regeneração contínua.

A fenologia reprodutiva de *C. guianensis* é marcadamente influenciada por fatores climáticos e por atributos individuais das árvores. Em um estudo de cinco anos conduzido em dois tipos florestais na Amazônia ocidental, Klimas *et al.* (2012) demonstraram que a produção de sementes é explicada por variáveis em múltiplas escalas, sendo a produção significativamente maior em florestas ocasionalmente inundadas e crescente com o DAP até valores entre 40 e 50 cm, a partir dos quais tende a declinar. Resultado semelhante foi relatado por Dantas *et al.* (2016) em floresta de várzea no estuário amazônico, reforçando a relação entre regime hídrico sazonal e sincronia reprodutiva.

Quanto à dispersão, *C. guianensis* produz sementes relativamente grandes e flutuantes, adaptadas à hidrocoria. Cloutier *et al.* (2005), em estudo de variação do DNA cloroplastidial na bacia amazônica, verificaram forte estruturação genética regional, compatível com fluxo gênico limitado por sementes, mas identificaram maior variação dentro de populações de várzea, sugerindo que a dispersão hídrica tem potencial de misturar linhagens maternas nesses

ambientes. Cunha *et al.* (2017), ao investigarem a hidrodinâmica da dispersão de sementes no baixo Amazonas, forneceram evidências complementares sobre como os padrões de correnteza fluvial modulam a distância e o destino final das sementes dispersas por flutuação.

A predação de sementes por insetos constitui um fator relevante para a regeneração natural: Pinto *et al.* (2013) identificaram *Hypsipyla grandella* e *H. ferrealis* (Lepidoptera: *Pyralidae*) como as principais espécies associadas à predação de sementes de *C. guianensis* e *C. procera*, com taxas médias de predação entre 39% e cerca de 62%, reduzindo significativamente o processo germinativo das sementes atacadas.

Sob perturbação, os estudos de Schwartz *et al.* (2012, 2014) na Floresta Nacional do Tapajós mostraram que a exploração de impacto reduzido (EIR) tende a reduzir a densidade de plântulas e indivíduos jovens de *C. guianensis* no curto e médio prazo, embora o efeito varie conforme o grupo ecológico da espécie e a heterogeneidade de microambientes criada pela exploração. Aparício *et al.* (2014), por sua vez, verificaram que a espécie apresenta baixos percentuais de regeneração natural em floresta de terra firme no Amapá quando comparada a outras espécies do dossel, o que sinaliza possível gargalo regenerativo em determinadas condições ambientais.

3.3.2. Fisiologia, Diversidade Genética e Delimitação Taxonômica

A espécie apresenta respostas fisiológicas plásticas frente a variações de irradiância e disponibilidade hídrica, o que é relevante diante de cenários de intensificação de eventos climáticos extremos

na Amazônia. Costa e Marengo (2007) mostraram que as taxas fotossintéticas de *C. guianensis* oscilam ao longo do dia, atingindo o pico no início da manhã e declinando com o aumento do déficit de pressão de vapor, enquanto o potencial hídrico foliar reduz-se progressivamente até o meio da tarde. Estudo posterior de Carvalho *et al.* (2009) evidenciou que mudas de andiroba submetidas a estresse hídrico apresentaram reduções superiores a 85% na fotossíntese líquida, na condutância estomática e na transpiração após 21 dias sem irrigação, mas recuperaram integralmente essas variáveis entre quatro e oito dias após a reidratação, indicando alta plasticidade fisiológica da espécie frente a episódios de seca.

Em relação à luminosidade, Gonçalves *et al.* (2010) constataram fotoinibição em plantas jovens expostas a pleno sol após 45 dias de experimento, com desempenho fotoquímico comparativamente superior ao de *Dipteryx odorata* nas mesmas condições, o que indicou maior aptidão relativa da andiroba para uso em plantios a pleno sol ou em restauração de áreas degradadas. Resultados mais recentes de Ribeiro *et al.* (2023) demonstraram que a aplicação exógena do fito-hormônio 24-epibrassinolídeo melhorou a margem de segurança hidráulica, as trocas gasosas e as defesas antioxidantes de plantas jovens submetidas a déficit hídrico, apontando um caminho biotecnológico promissor para mitigar os efeitos de secas mais frequentes.

Em escala de dossel, Coelho-Silva *et al.* (2024) compararam traços hidráulicos e estruturais de cinco espécies ao longo de gradientes de luz em floresta secundária amazônica, verificando que *C. guianensis*, como espécie não pioneira, apresentou maior resistência à embolia xilemática ($P_{50} = -4,06$ MPa) do que espécies pioneiras como *Tabebuia rosea*, o que sugere maior resiliência hidráulica da

andiroba frente à variação de luz e, por extensão, potencial adequação a plantios voltados à adaptação climática em florestas secundárias.

Estudos moleculares indicam que *C. guianensis* apresenta sistema misto de reprodução, com predominância de cruzamento (alogamia). Campos *et al.* (2013) estimaram taxa de cruzamento multilocos de 0,862 em população de alta densidade na Amazônia, identificando também endogamia biparental relevante e recomendando a coleta de sementes de, no mínimo, 56 árvores matrizes para manter tamanho efetivo populacional mínimo de 150 indivíduos em programas de conservação genética e reflorestamento. Cloutier *et al.* (2007) chegaram a conclusões convergentes, relatando baixos níveis de endogamia e distâncias médias de dispersão de pólen entre 69 e 355 m, sem diferenças significativas de endogamia entre árvores com alta e baixa densidade local de coespecíficos.

A estruturação espacial da diversidade genética também foi associada ao tipo de ambiente florestal: Martins *et al.* (2012) verificaram que, apesar da maior densidade de adultos em florestas ocasionalmente inundadas, a distância média de dispersão polínica foi semelhante entre ambientes, mas o fluxo de sementes foi maior em terra firme, sugerindo que a inundação sazonal não necessariamente amplia a dispersão efetiva de sementes nesses ambientes, possivelmente em razão de maior mortalidade de plântulas. Em nível regional, Raposo *et al.* (2007) documentaram estruturação genética entre populações de andiroba no baixo Acre, com padrões de diversidade compatíveis aos observados em outras populações amazônicas, evidenciando a necessidade de considerar

a variabilidade geográfica em estratégias de conservação de germoplasma.

No plano taxonômico, Scotti-Saintagne *et al.* (2013) conduziram estudo filogeográfico abrangente do complexo de espécies do gênero *Carapa* nos neotrópicos, identificando dois grandes agrupamentos genéticos (*C. guianensis sensu lato* e *C. surinamensis*), com evidências de introgressão e ausência de completa separação de linhagens entre os genomas nuclear e cloroplastidial, sugerindo barreiras reprodutivas incompletas entre espécies do gênero. Corroborando a complexidade taxonômica do grupo, Gonçalves *et al.* (2025) integraram perfis lipidômicos do óleo de sementes com marcadores de DNA *barcoding* para diferenciar *C. guianensis* de *C. vasquezii*, encontrando forte divergência molecular ($F_{ST} = 0,87$) entre as espécies morfologicamente identificadas. Ferramentas genômicas mais amplas também têm sido desenvolvidas para a espécie, incluindo sequenciamento de transcriptoma (Brousseau *et al.*, 2014), sequenciamento completo do genoma cloroplastidial (Mader *et al.*, 2018) e marcadores de SNP e indels voltados à rastreabilidade de madeira (Tysklind *et al.*, 2019), este último com relevância direta para o combate à exploração madeireira ilegal.

3.3.3. Manejo Florestal Sustentável, Exploração Madeireira e Não Madeireira

A literatura converge para a viabilidade do manejo múltiplo (madeireiro e não madeireiro) de *C. guianensis*, ainda que condicionado ao tipo florestal e à intensidade de exploração. Utilizando modelos matriciais de população, Klimas *et al.* (2012) constataram que, em florestas de terra firme, nenhum nível testado

de extração combinada de sementes e madeira mostrou-se sustentável a longo prazo, ao passo que em florestas ocasionalmente inundadas colheitas anuais de até 10% das sementes mostraram-se compatíveis com a extração madeireira de 100% das árvores com diâmetro igual ou superior a 50 cm a cada 50 anos (equivalente a cerca de duas árvores por hectare). Os mesmos autores avaliaram o valor econômico dessas estratégias e demonstraram que a combinação de extração de óleo (via prensagem mecânica) e madeira é economicamente competitiva com outras atividades florestais geradoras de renda para comunidades amazônicas, desde que a extração manual do óleo seja substituída por métodos mecanizados.

Quanto aos efeitos da exploração de impacto reduzido (EIR) sobre crescimento, mortalidade e recrutamento, Schwartz *et al.* (2012) verificaram, na Floresta Nacional do Tapajós, que a EIR criou maior heterogeneidade estrutural (mais parcelas em fase de clareira), efeito ainda perceptível seis anos após a exploração; a densidade de *C. guianensis* diminuiu no período avaliado, mas a taxa de incremento diamétrico da espécie foi favorecida pela EIR, evidenciando efeitos distintos sobre diferentes parâmetros demográficos. Estudo complementar dos mesmos autores em 2014 mostrou que, após a exploração, a taxa de recrutamento superou a taxa de mortalidade para o conjunto de espécies comerciais avaliadas, com o incremento de densidade concentrado nas parcelas mais perturbadas, reforçando a importância da heterogeneidade de micro-habitats criada pela exploração para a regeneração de espécies comerciais.

Modelos de crescimento e produção têm sido desenvolvidos para subsidiar decisões técnicas sobre ciclos de corte: Pires *et al.* (2021)

ajustaram modelos de regressão para projeção do crescimento diamétrico de *C. guianensis* e *Tetragastris altissima* na Amazônia, estimando incremento médio anual de 0,38 cm/ano para a andiroba e ciclos de corte estimados entre 24 e 45 anos. Esta faixa extrapola, em parte, o ciclo de corte de 25 a 35 anos previsto na legislação brasileira de manejo florestal, alertando para o risco de decisões inadequadas quanto à intensidade de exploração quando parâmetros genéricos são aplicados sem calibração específica por espécie. Em contexto colombiano, Bacca-Acosta *et al.* (2021) registraram incrementos médios anuais de 2,9 cm em diâmetro e 2,3 m em altura ao longo de 60 meses em plantios de Tumaco, sugerindo que a espécie pode atingir a maturidade comercial em prazo inferior a 50 anos sob condições agroecológicas favoráveis.

No que se refere a possíveis conflitos de uso entre produtos madeireiros e não madeireiros, Herrero-Jáuregui *et al.* (2013) identificaram *C. guianensis* entre as espécies multiuso da Amazônia venezuelana, ressaltando a ausência, nos cinco países analisados, de legislação específica voltada à harmonização do manejo conjunto de madeira e produtos florestais não madeireiros (PFNMs), o que representa uma lacuna normativa relevante. Já em relação à renda gerada por pequenos produtores, Sist *et al.* (2014) constataram que a coleta de sementes de andiroba para produção de óleo, combinada à exploração madeireira, gera benefício econômico anual comparável ao dos sistemas agrários menos produtivos da região, embora ainda distante da renda dos sistemas mais produtivos, o que aponta a necessidade de políticas de fomento e agregação de valor para tornar o manejo múltiplo mais competitivo.

3.3.4. Produção de Mudas, Desempenho em Plantios e Potencial para Restauração Ecológica

Os estudos de propagação de *C. guianensis* indicam desempenho satisfatório da espécie em sistemas de plantio diversificados. Bauch e Dünisch (2000) compararam árvores de monoculturas de 4 e 17 anos com árvores de floresta primária na Amazônia central, verificando que a densidade média da madeira ($0,63 \text{ g/cm}^3$) e o comprimento de fibras de árvores plantadas equivaleram aos de árvores de floresta primária a partir do quarto ano, recomendando a espécie para plantios voltados à produção de madeira de alta qualidade com cerne decorativo. Dünisch *et al.* (2002) complementaram essa avaliação ao comparar monocultura e plantio de enriquecimento, constatando que, após sete anos, o balanço de nutrientes (K, Mg e P) do solo estabilizou-se no plantio de enriquecimento, ao passo que a monocultura apresentou déficit significativo desses nutrientes por maior lixiviação e menor taxa de decomposição da serapilheira.

Quanto ao espaçamento e à morfologia de copa, Tonini e Arco-Verde (2005) avaliaram parâmetros de copa de quatro espécies nativas de Roraima (incluindo andiroba) para subsidiar diretrizes de desbaste, e Tonini *et al.* (2008) mensuraram o crescimento inicial de seis espécies amazônicas nove anos após o plantio, constatando incrementos diamétricos superiores a 2 cm/ano para a maioria das espécies avaliadas quando adotados espaçamentos e desbastes adequados. Souza *et al.* (2010) compararam plantio a pleno sol com faixas de enriquecimento em capoeira, verificando que, ao contrário de outras espécies com melhor desempenho a pleno sol, *C. guianensis* apresentou o melhor desempenho relativo justamente nas faixas de enriquecimento de floresta secundária, reforçando sua maior adequação a sistemas de sub-bosque ou enriquecimento do que a plantios em área total exposta.

Em relação à germinação e à formação de mudas, Souza *et al.* (2017) descreveram, para *C. surinamensis* (espécie próxima), o fenômeno de brotação múltipla a partir de uma única semente e suas implicações após manipulação pós-germinativa por roedores, tema pouco explorado na literatura e com potencial relevância prática para a produção de mudas a partir de sementes predadas ou danificadas. Mais recentemente, Matos *et al.* (2025), em revisão sobre substratos utilizados na produção de mudas de cinco espécies florestais amazônicas (entre elas a andiroba), identificaram preferência da literatura recente por substratos orgânicos e organominerais, embora tenham constatado lacuna específica quanto ao uso de esterco animal para andiroba, indicando uma linha de pesquisa em aberto para otimização de substratos específicos da espécie.

Do ponto de vista silvicultural mais amplo, Santos e Ferreira (2020) avaliaram o estabelecimento inicial de seis espécies comerciais sob plantio de enriquecimento em floresta secundária da Amazônia central, submetidas a gradiente de transmitância luminosa criado por diferentes níveis de refinamento do dossel. *C. guianensis*, classificada como espécie tolerante à sombra, apresentou crescimento inicial mais lento em pleno sol do que espécies pioneiras, mas foi uma das espécies mais suscetíveis ao ataque da broca-de-ponteiro em ambientes de maior luminosidade e sub-bosque roçado, informação relevante para o planejamento de tratamentos silviculturais em plantios de enriquecimento.

O conjunto de evidências aponta *C. guianensis* como espécie promissora para programas de restauração florestal e recuperação de áreas degradadas na Amazônia. Sua tolerância à sombra na fase inicial, aliada à plasticidade fisiológica frente a variações de luz e

água já discutida nas seções anteriores, favorece seu uso em plantios de enriquecimento de florestas secundárias (Souza *et al.*, 2010; Santos; Ferreira, 2020). Coelho-Silva *et al.* (2024), ao avaliarem cinco espécies ao longo de gradientes de luz em floresta secundária de 22 anos, destacaram justamente espécies não pioneiras e de crescimento mais lento, como *C. guianensis*, como mais resilientes à variação de luz e, portanto, mais adequadas a plantios voltados à adaptação climática em florestas secundárias.

O zoneamento topoclimático desenvolvido por Martorano *et al.* (2025) reforça esse potencial ao identificar alto potencial de uso da espécie em 64% das áreas antropizadas da Amazônia Legal avaliadas, propondo sua inclusão em estratégias de agrofloresta alinhadas à legislação brasileira de pagamento por serviços ambientais, com benefícios simultâneos para a conservação da biodiversidade e o fortalecimento da bioeconomia regional.

3.3.5. Ameaças à Espécie e Estratégias de Conservação

Entre as principais ameaças bióticas identificadas para *C. guianensis* destaca-se a predação de sementes e o ataque de brocas do gênero *Hypsipyla*, já discutidos na seção sobre regeneração natural (Pinto *et al.*, 2013), que comprometem diretamente o potencial reprodutivo e a viabilidade de sementes destinadas tanto à regeneração natural quanto à produção de óleo. No âmbito fitopatológico, Valdetaro *et al.* (2019) descreveram uma forma hospedeiro-especializada de *Ceratocystis fimbriata* responsável por tombamento de sementes e mudas de *C. guianensis* em florestas nativas amazônicas, doença com potencial de comprometer a regeneração natural e a produção de mudas em viveiro, representando uma ameaça fitossanitária ainda pouco caracterizada na literatura.

Do ponto de vista do manejo, o principal risco à sustentabilidade populacional da espécie está associado à sobre-exploração combinada de sementes e madeira em ambientes ecologicamente menos favoráveis (terra firme), conforme demonstrado pelos modelos populacionais de Klimas *et al.* (2012), que indicaram ausência de níveis sustentáveis de exploração combinada nesse tipo florestal. A esse risco soma-se a ausência de marcos regulatórios específicos para harmonizar usos madeireiros e não madeireiros em espécies multiuso, como apontado por Herrero-Jáuregui *et al.* (2013).

Entre as lacunas de conhecimento mais evidentes para a proteção da espécie estão: (i) a escassez de estudos de longo prazo sobre dinâmica populacional em floresta de terra firme sob diferentes intensidades de exploração; (ii) a caracterização ainda incipiente de patógenos e pragas que afetam viveiros e plantios comerciais, para além de *Hypsipyla* spp. e *C. fimbriata*; e (iii) a necessidade de calibração regional dos ciclos de corte e diâmetros mínimos de exploração, dado que os modelos de crescimento disponíveis (Pires *et al.*, 2021; Bacca-Acosta *et al.*, 2021) apontam variação considerável entre regiões, o que compromete a aplicação de parâmetros genéricos de manejo estabelecidos por legislação nacional.

3.3.6. Usos Diversos e Potencial Econômico

C. guianensis é uma espécie de reconhecido caráter multiuso. Do ponto de vista madeireiro, Klimas *et al.* (2007) e Bauch e Dünisch (2000) destacam sua madeira de qualidade comparável à do mogno, com cerne decorativo valorizado comercialmente. Do ponto de vista não madeireiro, o óleo extraído das sementes constitui o produto de maior relevância econômica e cultural, historicamente utilizado por

populações amazônicas como repelente de insetos, cicatrizante e anti-inflamatório tópico (Nardi *et al.*, 2016; Ferreira *et al.*, 2019).

A caracterização química do óleo de andiroba revela um perfil rico em limonoides, classe de metabólitos secundários responsável por grande parte de suas propriedades farmacológicas. Estudos farmacológicos *in vitro* e *in vivo* têm ampliado o espectro de propriedades atribuídas ao óleo e a suas frações (Matsui *et al.*, 2014).

Em relação ao potencial econômico, Klimas *et al.* (2012) demonstraram viabilidade econômica da extração combinada de óleo (via prensagem mecânica) e madeira, enquanto Gonçalves *et al.* (2012) identificaram a andiroba, junto à copaíba e ao cumaru, como um dos produtos florestais não madeireiros mais procurados no comércio informal de Santarém (Pará), evidenciando sua relevância na economia regional de produtos florestais não madeireiros.

3.4. Limites Identificados para o Manejo Sustentável

A integração dos resultados bibliométricos com a síntese da fundamentação teórica permitiu identificar seis limites centrais para o manejo sustentável de *C. guianensis*, que constituem a principal contribuição desta revisão.

O primeiro limite refere-se à dependência do tipo florestal. Os modelos matriciais de Klimas *et al.* (2012) demonstram que a exploração conjunta de sementes e madeira é sustentável apenas em florestas de várzea. Essa constatação é corroborada pela maior densidade de adultos reprodutivos e pela maior produção de sementes nesses ambientes (Dantas *et al.*, 2016). Contudo, a maioria dos planos de manejo florestal vigentes na Amazônia brasileira não diferencia parâmetros técnicos por tipo florestal para espécies

individuais, o que pode resultar em sobre-exploração de populações de terra firme.

O segundo limite envolve a ausência de calibração regional dos ciclos de corte. As estimativas disponíveis variam de 24 a 45 anos na Amazônia brasileira (Pires *et al.*, 2021) a ciclos potencialmente inferiores a 50 anos em plantios colombianos (Bacca-Acosta *et al.*, 2021). A aplicação de parâmetros genéricos previstos na legislação (25 a 35 anos) sem calibração por espécie e região pode comprometer tanto a sustentabilidade biológica quanto o potencial produtivo da espécie.

O terceiro limite diz respeito à escassez de monitoramento de longo prazo. A maioria dos estudos de dinâmica pós-exploração disponíveis (Aguiar *et al.*, 2019) baseia-se em períodos de até 10 anos, insuficientes para avaliar os efeitos cumulativos de ciclos sucessivos sobre a estrutura genética, a capacidade reprodutiva e a regeneração das populações. Essa lacuna é especialmente crítica para uma espécie de ciclo de vida longo.

O quarto limite está associado à produção de mudas em escala. Embora onze artigos tratem do tema, a maioria concentra-se em desempenho inicial de plantios ou em avaliação de espaçamento e crescimento, com escassez de estudos específicos sobre substratos, tratamentos pré-germinativos e protocolos padronizados de viveiro. A lacuna quanto a substratos otimizados para andiroba, identificada por Matos *et al.* (2025), representa gargalo prático para programas de restauração florestal e sistemas agroflorestais que pretendam incorporar a espécie.

O quinto limite refere-se à desconexão entre conhecimento fisiológico e recomendações de manejo. Embora a espécie apresente alta plasticidade frente a variações de luz e disponibilidade hídrica (Ribeiro *et al.*, 2023), essa informação não foi traduzida em diretrizes operacionais de manejo adaptativo, como definição de épocas preferenciais de exploração, intensidade de abertura do dossel ou critérios de seleção de áreas prioritárias para conservação de matrizes sob cenários climáticos adversos. A baixa conectividade entre termos fisiológicos e de manejo na rede de coocorrência de palavras-chave confirma, no plano bibliométrico, essa lacuna de integração disciplinar.

O sexto limite refere-se ao descompasso entre o potencial da espécie para restauração ecológica, amplamente apontado pela literatura de zoneamento e fisiologia (Martorano *et al.*, 2025; Coelho-Silva *et al.*, 2024), e a ausência total de estudos experimentais que tenham a restauração como foco central. Essa lacuna, evidenciada pela análise por eixo temático, indica que a agenda de restauração com *C. guianensis* permanece no plano da proposição teórica, sem experimentos de campo estruturados que testem taxas de sobrevivência, arranjos espaciais ou desempenho de longo prazo em áreas de recuperação.

4. CONCLUSÃO

A revisão sistemática de 70 artigos publicados entre 2000 e 2025 permitiu mapear o estado da arte sobre *Carapa guianensis* sob a perspectiva do manejo florestal sustentável e identificar os limites atuais do conhecimento.

A espécie apresenta distribuição ampla na Amazônia, com ocorrência tanto em florestas de terra firme quanto de várzea, sendo esta última o ambiente ecologicamente mais favorável à reprodução e ao manejo. Sua biologia reprodutiva encontra-se relativamente bem caracterizada, com sistema misto de reprodução (predominantemente alógamo), dispersão hidrocórica e predação de sementes por *Hypsipyla* spp. como fator limitante.

A viabilidade da exploração combinada de sementes e madeira é condicionada ao tipo florestal. Em florestas de várzea, colheitas anuais de sementes são compatíveis com a extração madeireira a cada 50 anos. Em terra firme, nenhum nível de exploração combinada mostrou-se sustentável nos modelos populacionais disponíveis, o que constitui o principal limite identificado para o manejo multiuso nesse ambiente.

A alta plasticidade fisiológica da espécie a torna promissora para plantios de enriquecimento em florestas secundárias e para restauração ecológica. Esse potencial é reforçado pelo zoneamento topoclimático recente, que identificou alto potencial de uso em 64% das áreas antropizadas da Amazônia Legal.

As lacunas mais críticas compreendem: (i) a ausência de estudos de longo prazo sobre dinâmica populacional sob ciclos sucessivos de exploração; (ii) a necessidade de calibração regional dos ciclos de corte; (iii) a escassez de pesquisas sobre substratos e tratamentos pré-germinativos para produção de mudas em escala; e (iv) a carência de estudos integrados que conectem fisiologia e cenários de mudança climática a recomendações práticas de manejo.

Conclui-se que a andiroba reúne atributos ecológicos, genéticos e econômicos que a qualificam como espécie-modelo de manejo florestal multiuso na Amazônia. A consolidação dessa condição depende da superação das lacunas apontadas por meio de pesquisas integradas de longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, S. H. S. *et al.* Dynamics of natural regeneration of timber species during three decades after logging in the Tapajós National Forest, Brazil. **Scientia Forestalis**, [S.l.], v. 47, n. 121, p. 157-166, 2019. DOI: 10.18671/scifor.v47n121.16

APARÍCIO, P. S. *et al.* Levels of natural regeneration in Levels of natural regeneration in terra firme forest in Amapá, Brazil. **Revista Arvore**, [S.l.], v. 38, n. 4, p. 699-710, 2014. DOI: 10.1590/S0100-67622014000400013

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. *bibliometrix*: an R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, [S.l.], v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017. DOI: 10.1016/j.joi.2017.08.007

BACCA-ACOSTA, P. P. *et al.* Growth potential of *Carapa guianensis* (Aubl.) in Tumaco, Colombia. **Revista Chapingo**, [S.l.], v. 27, n. 3, p. 401-412, 2021. DOI: 10.5154/R.RCHSCFA.2020.09.062

BAUCH, J.; DÜNISCH, O. Comparison of growth dynamics and wood characteristics of plantation-grown and primary forest *Carapa guianensis* in central Amazonia. **Iawa Journal**, [S.l.], v. 21, n. 3, p. 321-333, 2000. DOI: 10.1163/22941932-90000250

BROUSSEAU, L. *et al.* High-throughput transcriptome sequencing and preliminary functional analysis in four neotropical tree species. **Bmc Genomics**, [S./], v. 15, 2014. DOI: 10.1186/1471-2164-15-238

CAMPOS, T. *et al.* Mating system parameters in a high density population of andirobas in the Amazon forest. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [S./], v. 48, n. 5, p. 504-509, 2013. DOI: 10.1590/S0100-204X2013000500006

CARVALHO, G. J. F. *et al.* Photosynthesis and water potential of andiroba seedlings submitted to water stress and rewetting. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [S./], v. 44, n. 1, p. 8-14, 2009.

CLOUTIER, D. *et al.* Chloroplast DNA variation of *Carapa guianensis* in the Amazon basin. **Silvae Genetica**, [S./], v. 54, n. 6, p. 270-274, 2005. DOI: 10.1515/sg-2005-0039

CLOUTIER, D. *et al.* Low inbreeding and high pollen dispersal distances in populations of two amazonian forest tree species. **Biotropica**, [S./], v. 39, n. 3, p. 406-415, 2007. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2007.00266.x

COELHO-SILVA, D. *et al.* Hydraulic and structural traits of trees across light gradients in the Amazon secondary forest. **Tree Physiology**, [S./], v. 44, n. 12, 2024. DOI: 10.1093/treephys/tpae146

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Photosynthesis, stomatal conductance and leaf water potential in crabwood (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, [S./], v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007. DOI: 10.1590/s0044-59672007000200008

CUNHA, A. C. *et al.* Hydrodynamics and seed dispersal in the lower Amazon. **Freshwater Biology**, [S.l.], v. 62, n. 10, p. 1721-1729, 2017. DOI: 10.1111/fwb.12982

DANTAS, A. R. *et al.* Phenology of the multi-use tree species *carapa guianensis* in a floodplain forest of the Amazon estuary. **Acta Botanica Brasilica**, [S.l.], v. 30, n. 4, p. 618-627, 2016. DOI: 10.1590/0102-33062016abb0282

DEGEN, B. *et al.* Fine-scale spatial genetic structure of eight tropical tree species as analysed by rapds. **Heredity**, [S.l.], v. 87, n. 4, p. 497-507, 2001. DOI: 10.1046/j.1365-2540.2001.00942.x

DÜNISCH, O. *et al.* Nutrient fluxes and growth of *Carapa guianensis* aubl. in two plantation systems in the central Amazon. **Forest Ecology And Management**, [S.l.], v. 166, n. 13, p. 55-68, 2002. DOI: 10.1016/S0378-1127(01)00675-2

FERREIRA, R. S. R. D. S. *et al.* The use of medicinal plants in the riverside community of the mazagão river in the brazilian Amazon, Amapá, Arazil: ethnobotanical and ethnopharmacological studies. **Evidence-Based Complementary And Alternative Medicine**, [S.l.], v. 2019, 2019. DOI: 10.1155/2019/6087509

FIRMINO, A. V. Wood properties of *Carapa guianensis* from floodplain and upland forests in Eastern Amazonia, Brazil. **Scientific Reports**, London, v. 9, [S.n.], p. e-10641, 2019. DOI: 10.1038/s41598-019-46943-w

GONÇALVES, D. C. M. *et al.* Market aspects of non-timber products in the economy of santarem, state of Para, Brazil. **Floresta E Ambiente**, [S.l.], v. 19, n. 1, p. 9-16, 2012. DOI: 10.4322/floram.2012.002

GONÇALVES, F. D. C. G. *et al.* Lipid profiles and dna barcoding markers reveal the genetic delimitation between species of the *Carapa* genus native from the Amazon. **Biochemical Systematics And Ecology**, [S./], v. 119, p. 104923, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bse.2024.104923>

GONÇALVES, J. F. D. C. *et al.* Analysis of chlorophyll a fluorescence transients of young plants of *Carapa guianensis* and *Dipteryx odorata* submitted to two light environments. **Acta Amazonica**, [S./], v. 40, n. 1, p. 89-98, 2010. DOI: 10.1590/s0044-59672010000100012

GUARINO, E. D. S. G. *et al.* Age and spatial structure of *Carapa guianensis* Aubl. (Meliaceae) in southwestern Amazon. **Scientia Forestalis**, [S./], v. 42, n. 101, p. 91-99, 2014.

HERRERO-JÁUREGUI, C. *et al.* Assessing the extent of "conflict of use" in multipurpose tropical forest trees: a regional view. **Journal Of Environmental Management**, [S./], v. 130, p. 40-47, 2013. DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.08.044

KLIMAS, C. A. *et al.* Control of *Carapa guianensis* phenology and seed production at multiple scales: a five-year study exploring the influences of tree attributes, habitat heterogeneity and climate cues. **Journal Of Tropical Ecology**, [S./], v. 28, n. 1, p. 105-118, 2012. DOI: 10.1017/S0266467411000630

KLIMAS, C. A. *et al.* Population structure of *Carapa guianensis* in two forest types in the southwestern brazilian Amazon. **Forest Ecology And Management**, [S./], v. 250, n. 3, p. 256-265, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.05.025>

LOPEZ, O. *et al.* Interspecific variation in xylem vulnerability to cavitation among tropical tree and shrub species. **Tree Physiology**, [S./], v. 25, n. 12, p. 1553-1562, 2005. DOI: 10.1093/treephys/25.12.1553

MADER, M. *et al.* Complete chloroplast genome sequences of four Meliaceae species and comparative analyses. **International Journal Of Molecular Sciences**, [S./], v. 19, n. 3, 2018. DOI: 10.3390/ijms19030701

MARTINS, K. *et al.* Pollen and seed flow patterns of *Carapa guianensis* Aublet. (Meliaceae) in two types of amazonian forest. **Genetics And Molecular Biology**, [S./], v. 35, n. 4, p. 818-826, 2012. DOI: 10.1590/S1415-47572012005000068

MARTORANO, L. G. *et al.* Topoclimatic zoning of three native amazonian forest species: approach to sustainable silviculture. **Sustainability**, Switzerland, v. 17, n. 4, 2025. DOI: 10.3390/su17041366

MATOS, R. J. I. *et al.* Organic and organomineral substrates are the most used for the production of seedlings of amazonian forest species. **Nativa**, [S./], v. 13, n. 2, p. 178-188, 2025. DOI: 10.31413/nat.v13i2.18959

MATSUI, Y. *et al.* Carapanolides j-l from the seeds of *Carapa guianensis* (andiroba) and their effects on lps-activated no production. **Molecules**, [S./], v. 19, n. 11, p. 17130-17140, 2014. DOI: 10.3390/molecules191117130

NARDI, M. *et al.* Artisanal extraction and traditional knowledge associated with medicinal use of crabwood oil (*Carapa guianensis* Aublet.) in a peri-urban varzea environment in the amazon estuary.

Evidence-Based Complementary And Alternative Medicine, [S./], v. 2016, 2016. DOI: 10.1155/2016/5828021

PAGANI, R. N. *et al.* *Methodi Ordinatio*: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, [S./], v. 105, n. 3, p. 2109-2135, 2015. DOI: 10.1007/s11192-015-1744-x

PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, [S./], v. 372, n. 71, 2021. DOI: 10.1136/bmj.n71

PINTO, A. A. *et al.* Seed predation of crabwood [*Carapa guianensis* Aubl. and *Carapa procera* DC. (Meliaceae)] by insects in Amazon. **Revista Arvore**, [S./], v. 37, n. 6, p. 1115-1123, 2013. DOI: 10.1590/S0100-67622013000600013

PIRES, S. A. D. O. *et al.* Growth modeling of *Carapa guianensis* and *Tetragastris altissima* for improved management in native forests in the Amazon. **Ecological Modelling**, [S./], v. 456, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2021.109683

PRATES-CLARK, D. C. P. *et al.* Predicting geographical distribution models of high-value timber trees in the Amazon basin using remotely sensed data. **Ecological Modelling**, [S./], v. 211, n. 3, p. 309-323, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.09.024>

RAPOSO, A. *et al.* Genetic diversity structure of crabwood in baixo Acre, Brazil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [S./], v. 42, n. 9, p. 1291-1298, 2007. DOI: 10.1590/S0100-204X2007000900011

RIBEIRO, A. *et al.* 24-epibrassinolide alleviates drought effects in young *Carapa guianensis* plants, improving the hydraulic safety margin, gas exchange and antioxidant defence. **Plant Biology**, [S./], v. 25, n. 6, p. 924-934, 2023. DOI: 10.1111/plb.13563

SANTOS, V. A. H. F.; FERREIRA, M. J. Initial establishment of commercial tree species under enrichment planting in a central Amazon secondary forest: effects of silvicultural treatments. **Forest Ecology And Management**, [S./], v. 460, 2020. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.117822

SCHWARTZ, G. *et al.* Disturbance level determines the regeneration of commercial tree species in the eastern Amazon. **Biotropica**, [S./], v. 46, n. 2, p. 148-156, 2014. DOI: 10.1111/btp.12096

SCHWARTZ, G. *et al.* Mid-term effects of reduced-impact logging on the regeneration of seven tree commercial species in the eastern Amazon. **Forest Ecology And Management**, [S./], v. 274, p. 116-125, 2012. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.02.028

SCOTTI-SAINTAGNE, C. *et al.* Phylogeography of a species complex of lowland neotropical rain forest trees (Carapa, Meliaceae). **Journal Of Biogeography**, [S./], v. 40, n. 4, p. 676-692, 2013. DOI: 10.1111/j.1365-2699.2011.02678.x

SIST, P. *et al.* The contribution of multiple use forest management to small farmers' annual incomes in the eastern Amazon. **Forests**, [S./], v. 5, n. 7, p. 1508-1531, 2014. DOI: 10.3390/f5071508

SOUZA, C. R. *et al.* Forest species behavior in plantations at full sun and secondary forest enrichment strips in the Amazon. **Acta**

Amazonica, [S./], v. 40, n. 1, p. 127-134, 2010. DOI: 10.1590/s0044-59672010000100016

SOUZA, F. D. N. *et al.* Multiple shoots of *carapa surinamensis* seeds: characterization and consequences in light of post-germination manipulation by rodents. **South African Journal Of Botany**, [S./], v. 108, p. 346-351, 2017. DOI: 10.1016/j.sajb.2016.08.015

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Crown morphology to evaluate the growing space of four amazon native species. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [S./], v. 40, n. 7, p. 633-638, 2005. DOI: 10.1590/s0100-204x2005000700002

TONINI, H.; *et al.* Growth of amazon native species submitted to the plantation in the roraima state. **Ciencia Florestal**, [S./], v. 18, n. 12, p. 151-158, 2008. DOI: 10.5902/19805098453

TYSKLIND, N. *et al.* Development of nuclear and plastid snp and indel markers for population genetic studies and timber traceability of *carapa* species. **Conservation Genetics Resources**, [S./], v. 11, n. 3, p. 337-339, 2019. DOI: 10.1007/s12686-019-01090-2

VALDETARO, D. C. *et al.* A host specialized form of *ceratocystis fimbriata* causes seed and seedling blight on native *Carapa guianensis* (andiroba) in amazonian rainforests. **Fungal Biology**, [S./], v. 123, n. 2, p. 170-182, 2019. DOI: 10.1016/j.funbio.2018.12.001

¹ Doutoranda em Ciências Florestais da Universidade de Brasília
Campus Darcy Ribeiro. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

² Mestrando em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás Campus Samambaia. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

³ Discente do curso de Agronomia da Universidade Federal de Goiás Campus Samambaia. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁴ Discente do curso de Agronomia da Universidade Federal de Goiás Campus Samambaia. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁵ Discente do curso de Agronomia da Universidade Federal de Goiás Campus Samambaia. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)