

Revista Brasileira de Ciências Biológicas

Data de aceite: 30/07/2025

ESTRATÉGIAS DE POLINIZAÇÃO EM PALMEIRAS (ARECACEAE): UMA REVISÃO SOBRE MECANISMOS, INTERAÇÕES E IMPLICAÇÕES PARA CONSERVAÇÃO

Riverson Bentes da Silva

Layla Sena Coutinho

Willian Barros do Nascimento

Douglas do Nascimento Reis

Tatiane Mota da Silva Cardoso

Mariely Palheta Doval

Todo o conteúdo desta revista está
licenciado sob a Licença Creative
Commons Atribuição 4.0 Interna-
cional (CC BY 4.0).



Resumo: As palmeiras (Arecaceae) são componentes-chave da biodiversidade tropical e desempenham papéis ecológicos e socioeconômicos relevantes, especialmente na região amazônica. Entre os mecanismos que asseguram sua reprodução e persistência, a polinização se destaca por envolver interações complexas com agentes bióticos e abióticos. Este artigo de revisão tem como propósito integrar e sistematizar o estado atual do conhecimento científico acerca das estratégias de polinização em palmeiras, com especial atenção às síndromes florais, aos principais grupos de polinizadores envolvidos e às adaptações morfofisiológicas que sustentam essas interações ecológicas. A pesquisa foi conduzida em bases de dados nacionais e internacionais (Scopus, Web of Science, SciELO, Google Scholar), considerando publicações entre 2015 e 2024. Os resultados revelam predominância de síndromes entomófilas, com destaque para a melitofilia mediada por abelhas nativas (Meliponinae), embora outras síndromes, como cantarofilia, miofilia e anemofilia, também sejam relevantes em contextos específicos. A análise evidencia ainda lacunas no conhecimento, como a escassez de estudos em regiões subexploradas e a sub-representação de espécies não comerciais. A revisão conclui que compreender a diversidade e os padrões dessas interações é essencial para subsidiar estratégias de conservação, manejo sustentável e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas sobre os ecossistemas tropicais.

Palavras-chave: Arecaceae; Polinizadores; Síndromes florais; Reprodução vegetal; Conservação.

INTRODUÇÃO

É secular a importância dos recursos naturais da biodiversidade amazônica para sociedade e economia, pois inúmeras espécies botânicas se destacam por delas serem extraídas diversas matérias-primas

(frutos, sementes, palmitos e raízes) e são economicamente viáveis ao mercado local e nacional, em virtude do aproveitamento integral de seus produtos e subprodutos (Santos *et al.*, 2017).

Atualmente, há uma necessidade de promover uma diversificação da economia já existente, bem como o fortalecimento da bioeconomia definida como aquela que resulta em melhoria do bem-estar humano e equidade social, ao mesmo tempo em que reduz significativamente os riscos ambientais através de uma exploração racional com agregação de valor sobre os recursos naturais (Laureto; Cianciaruso, 2017).

A família *Arecaceae* Schultz Sch. é constituída por um grupo de espécies comumente conhecido como palmeiras (BRAZILIAN FLORA GROUP, 2018). A sinopse para o Brasil está representada por 37 gêneros e 299 espécies aceitas. A região amazônica possui expressiva riqueza de palmeiras, totalizando 146 espécies aceitas (REFLORA, 2020). Essa imensa diversidade distribui-se entre florestas densas e abertas, várzeas, campos de várzea, campinas e campinaranas, desempenhando funções específicas na estrutura desses ecossistemas. São plantas monocotiledôneas, lenhosas, herbáceas e escandentes, com morfologia muito característica, que permite identificação rápida, sem maiores dificuldades (Lorenzi *et al.*, 2010).

Apesar de sua abundância e ampla distribuição geográfica, muitas espécies de palmeiras encontram-se sob ameaça em razão da exploração predatória de seus produtos e da crescente destruição de seus habitats naturais, ocasionada por ações antrópicas como desmatamento, expansão agropecuária e urbanização desordenada (Dorneles *et al.*, 2013). Nesse contexto, compreender os mecanismos de reprodução dessas espécies torna-se essencial para subsidiar estratégias eficazes de conservação e manejo sustentável.

A polinização é um processo central na reprodução das angiospermas, e nas palmeiras ela envolve interações complexas com uma diversidade de agentes polinizadores, como besouros, abelhas, moscas, aves e morcegos, além de fatores abióticos como o vento. Tais interações podem variar significativamente conforme a morfologia floral, os hábitos das espécies e as características ambientais (Berger, 2006). A efetividade dessas interações depende da capacidade dos visitantes florais de transportar e depositar grãos de pólen sobre o estigma de outras flores, estabelecendo, assim, um fluxo gênico eficiente e garantindo a fecundação cruzada (Ostrorog; Barbosa, 2009).

Os visitantes florais podem exercer múltiplas funções: além da polinização, também se alimentam de partes florais, copulam ou ovipositem sobre as flores, podendo inclusive atuar como pilhadores ou predadores florais (Lírio *et al.*, 2011; Polatto; Alves Jr., 2008). A relação mutualística entre plantas e polinizadores apresenta grande diversidade de formas e níveis de especialização, o que reflete adaptações evolutivas específicas tanto das espécies vegetais quanto dos animais envolvidos (Bronstein; Alarcón; Berger, 2006).

Contudo, o conhecimento atual sobre as estratégias de polinização das palmeiras ainda é fragmentado e disperso em estudos isolados, geralmente voltados a espécies específicas ou contextos geográficos restritos. Essa lacuna dificulta a formulação de uma compreensão integrada dos padrões ecológicos e evolutivos que regem essas interações, o que limita também a adoção de políticas públicas eficazes de conservação.

Diante disso, o presente artigo de revisão tem como objetivo integrar e sistematizar o conhecimento disponível sobre as estratégias de polinização adotadas por palmeiras, com ênfase nas síndromes florais, nos principais grupos de polinizadores associados, e nas adaptações morfofisiológicas que favorecem

tais interações. Ao reunir essas informações, pretende-se contribuir para a ampliação da compreensão da biologia reprodutiva das palmeiras e apoiar ações voltadas à conservação de sua diversidade, especialmente frente aos desafios impostos pela fragmentação de habitats, perda de biodiversidade e mudanças climáticas globais.

OBJETIVOS

Este artigo tem como objetivo revisar e integrar os conhecimentos disponíveis sobre os mecanismos de polinização das palmeiras, com ênfase em:

- I. Identificar os principais grupos de polinizadores associados às diferentes espécies de palmeiras;
- II. Descrever as síndromes de polinização mais recorrentes nas espécies da família Arecaceae;
- III. Apontar as adaptações morfológicas e fisiológicas florais que favorecem a polinização;
- IV. Sinalizar lacunas no conhecimento atual que possam orientar futuras investigações científicas e estratégias de conservação.

METODOLOGIA

Esta revisão integrativa teve como objetivo sistematizar o conhecimento científico disponível acerca dos mecanismos de polinização em espécies pertencentes à família Arecaceae. O estudo foi delineado como uma pesquisa exploratória, de abordagem qualitativa, com foco na coleta, análise e síntese de dados provenientes de literatura especializada. Tal delineamento metodológico permite uma maior aproximação com o objeto de estudo, contribuindo para sua explicitação e para a formulação de hipóteses (Gil, 1999; Marconi; Lakatos, 2022).

No que se refere aos procedimentos técnicos, adotou-se a pesquisa bibliográfica, cujo objetivo é identificar e reunir fontes primárias e secundárias, bem como materiais científicos e tecnológicos indispensáveis à elaboração do trabalho científico (Oliveira, 2002). A busca por dados bibliográficos foi realizada entre março e junho de 2025, utilizando-se as bases de dados Web of Science, Scopus, SciELO e Google Scholar. Foram considerados artigos científicos, revisões sistemáticas, monografias taxonômicas e estudos etnobotânicos publicados no período de 2015 a 2024. Complementarmente, obras clássicas anteriores a esse intervalo temporal foram incluídas de maneira criteriosa, quando reconhecidas como referências fundamentais para a compreensão do tema.

Os descritores utilizados nas buscas incluíram combinações dos termos “Arecaceae”, “palmeiras”, “polinização”, “síndromes florais”, e “polinizadores”, tanto em português quanto em inglês (“pollination strategies”, “pollinators”, “floral biology”, “palm species”).

Os critérios de inclusão abrangeram publicações que:

- (i) abordassem aspectos ecológicos, morfológicos ou comportamentais da polinização em palmeiras;
- (ii) apresentassem dados empíricos ou modelos conceituais;
- (iii) contribuíssem para a compreensão das interações planta-polinizador em contextos tropicais.

Foram excluídos trabalhos duplicados, de escopo genérico ou sem relação direta com o tema. A seleção final foi baseada na leitura integral dos textos e na avaliação da relevância e qualidade metodológica das evidências apresentadas.

As informações extraídas dos estudos selecionados foram organizadas em quatro categorias temáticas:

- (i) grupos de polinizadores;
- (ii) síndromes florais predominantes;

- (iii) adaptações morfofisiológicas;
- (iv) implicações ecológicas e conservacionistas.

Essa categorização visou facilitar análises comparativas entre espécies e ambientes, identificar padrões ecológicos e destacar lacunas no conhecimento.

Os dados foram sistematizados com apoio do Microsoft Excel®, incluindo a elaboração de tabelas de síntese e quadros comparativos. Apesar de não ter sido realizada meta-análise estatística formal, a abordagem adotada permitiu uma análise qualitativa robusta dos padrões ecológicos associados à polinização em palmeiras.

ESTRATÉGIAS DE POLINIZAÇÃO EM PALMEIRAS

ENTOMOFILIA: POLINIZAÇÃO POR INSETOS

A entomofilia é a principal forma de polinização nas palmeiras tropicais. Espécies como *Euterpe oleracea* (açaizeiro) dependem quase exclusivamente da visita de insetos para o transporte eficaz de pólen (Ostrorog; Barboza, 2009). Abelhas nativas do gênero *Melipona*, conhecidas como abelhas-sem-ferrão, são responsáveis por mais de 90% da polinização do açaí, demonstrando alta especialização e eficiência.

CANTAROFILIA: POLINIZAÇÃO POR BESOUROS

A síndrome de cantarofilia ocorre em espécies como *Astrocaryum vulgare* (tucumã), nas quais os besouros são atraídos por odores intensos e abundância de pólen. Besouros das famílias Curculionidae e Nitidulidae são polinizadores frequentes e eficazes. A interação resulta em transferência direta de pólen entre flores masculinas e femininas, sendo comum a ocorrência de consumo floral concomitante.

POLINIZAÇÃO ASSISTIDA: PRÁTICA AGRONÔMICA

Em cultivos comerciais, como no híbrido BRS Manicoré (*Elaeis guineensis* e *Elaeis oleifera*), adota-se a polinização assistida. Essa técnica envolve aplicação manual de pólen em inflorescências femininas. Na estação chuvosa, 15 mg de pólen aplicados uma única vez são suficientes; na seca, são recomendados 40 mg, com reaplicações, visando garantir a fecundação em ambientes com baixa densidade de polinizadores.

Apesar dos benefícios agronômicos, a polinização assistida levanta preocupações quanto à conservação genética, especialmente em cultivos extensivos. A manipulação manual do pólen pode reduzir a variabilidade genética e promover um afunilamento genético em populações comerciais. Além disso, a dependência de mão-de-obra e insumos torna o sistema vulnerável economicamente. Ainda são necessários estudos que comparem os efeitos reprodutivos de médio e longo prazo entre polinização natural e assistida.

IMPORTÂNCIA ECOLÓGICA E ECONÔMICA

A polinização das palmeiras é crucial para o equilíbrio ecológico e para a segurança alimentar de populações humanas. Na Amazônia, o valor estimado dos serviços ecossistêmicos relacionados à polinização de palmeiras ultrapassa R\$ 700 milhões por ano, com destaque para espécies como o açaí, que sustentam cadeias produtivas locais e exportações.

PRINCIPAIS GRUPOS DE POLINIZADORES

A polinização em palmeiras (Arecaceae) envolve uma diversidade complexa de grupos animais, cuja eficiência e importância ecológica variam conforme a espécie, o habitat e as condições ambientais. A interação com diferentes agentes polinizadores influencia

diretamente a reprodução sexual, a diversidade genética e a resiliência das populações de palmeiras, além de contribuir para a manutenção dos serviços ecossistêmicos essenciais em ecossistemas tropicais (Klein *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2021). Compreender a dinâmica desses grupos é fundamental para formular estratégias eficazes de conservação e manejo sustentável.

ABELHAS NATIVAS (MELIPONINAE, HALICTIDAE)

As abelhas nativas sem ferrão, particularmente do grupo Meliponinae, e pequenos halictídos dos gêneros *Augochloropsis* e *Diadictus*, desempenham papel central como polinizadores primários de diversas espécies de palmeiras, como *Euterpe oleracea* (Silva *et al.*, 2018). Estudos indicam que uma única visita pode transportar em torno de cinco mil grãos de pólen, resultado da alta fidelidade floral e do comportamento de forrageio especializado (Carvalho *et al.*, 2021).

A morfologia corporal pilosa destas abelhas favorece a aderência e transferência do pólen às estruturas reprodutivas das flores, promovendo polinização cruzada eficiente. Além disso, a sincronização temporal da atividade diurna dessas abelhas com o período de antese das flores maximiza o sucesso reprodutivo. A redução na diversidade e abundância desses polinizadores, frequentemente associada a alterações antrópicas como desmatamento e uso de pesticidas, pode comprometer significativamente a reprodução das palmeiras (Lima *et al.*, 2023).

MOSCAS (DIPTERA)

Moscas representam aproximadamente 16% dos visitantes florais em algumas espécies de palmeiras, associando-se à síndrome de polinização por miofilia, caracterizada por flores que exalam odores fortes e apresentam coloração escura (Ribeiro & Martins, 2015).

Embora geralmente consideradas polinizadoras secundárias, moscas de famílias como Syrphidae e Calliphoridae contribuem para a polinização ao visitarem as flores em busca de néctar ou outros recursos. Essa participação torna-se mais significativa em ambientes onde os polinizadores principais estão ausentes ou em declínio, atuando como agentes complementares e garantindo a continuidade dos processos reprodutivos (Lima et al., 2019). Contudo, a eficiência polinizadora das moscas pode ser menor devido à morfologia corporal menos adaptada para transporte efetivo do pólen.

VESPAS (HYMENOPTERA)

As vespas correspondem a cerca de 12% dos visitantes florais e atuam principalmente como polinizadores auxiliares (Costa et al., 2017). Sua relevância é notável em ecossistemas onde a abundância de abelhas é reduzida, desempenhando papel funcional ao visitarem flores em busca de alimento e inadvertidamente transportarem pólen. Embora sua eficiência individual seja menor comparada às abelhas, as vespas contribuem para a diversidade dos agentes polinizadores, ampliando a resiliência dos sistemas frente a perturbações ambientais.

FORMIGAS (FORMICIDAE)

Formigas visitam cerca de 8% das flores de palmeiras, porém seu papel como polinizadoras é geralmente limitado (Oliveira & Souza, 2019). Características morfológicas, como o corpo liso, e comportamentos como secreção de substâncias antibióticas e limpeza das flores, podem prejudicar a deposição eficaz do pólen e até causar predação do pólen ou néctar. Em alguns casos, entretanto, as formigas podem exercer funções acessórias na polinização, especialmente em ambientes com baixa disponibilidade de outros polinizadores, demonstrando flexibilidade ecológica que pode ser relevante para a persistência de certas populações em condições adversas.

BESOUROS (COLEOPTERA)

Besouros, especialmente de famílias como Nitidulidae e Curculionidae, atuam como polinizadores primários em diversas palmeiras neotropicais, incluindo *Oenocarpus bacaba* e *Astrocaryum vulgare* (Andrade & Silva, 2016). Com cerca de 6% de participação nas visitas florais, esses insetos destacam-se por associarem-se a flores que apresentam termogênese e produzem aromas característicos, facilitando sua atração (Torres et al., 2020). A morfologia robusta dos besouros favorece a aderência e transporte de pólen, enquanto seu comportamento de alimentação e movimentação dentro das inflorescências promove uma polinização eficiente, principalmente em flores com estrutura mais fechada. A presença dos besouros contribui para a diversidade funcional dos polinizadores, assegurando a manutenção das interações planta-polinizador em diferentes condições ambientais.

A Tabela 3, apresentada a seguir, sintetiza as principais associações entre grupos polinizadores e espécies de palmeiras neotropicais, com base nos padrões observados na literatura analisada.

Grupo de Polinizador	Espécies Associadas	Síndrome Floral Dominante
Abelhas (Meliponinae)	<i>Euterpe oleracea</i> , <i>Bactris gasipaes</i>	Melitofilia
Besouros (Curculionidae)	<i>Astrocaryum vulgare</i> , <i>Oenocarpus distichus</i>	Cantarofilia
Moscas (Diptera)	<i>Oenocarpus bacaba</i>	Miiofilia
Mariposas (Sphingidae)	<i>Mauritia flexuosa</i>	Esfingofilia
Formigas (Formicidae)	Diversas (visitação ocasional)	Generalista/Acessória

Tabela 3. Associação entre grupos polinizadores e espécies de palmeiras

SÍNDROMES DE POLINIZAÇÃO EM PALMEIRAS

As síndromes de polinização correspondem a conjuntos de características florais que refletem adaptações específicas às preferências e comportamentos dos agentes polinizadores (Faegri & van der Pijl, 1979). Essas estratégias garantem a efetividade na transferência do pólen, influenciando a reprodução, a diversidade genética e a distribuição das palmeiras (Arecaceae). A seguir, descrevem-se as principais síndromes de polinização observadas em palmeiras, com destaque para aspectos morfológicos, ecológicos e os grupos polinizadores envolvidos.

MELITOFILIA (POLINIZAÇÃO POR ABELHAS)

A melitofilia é a síndrome mais prevalente em palmeiras tropicais, caracterizada por flores diurnas, com produção abundante de néctar e coloração clara, que atraem abelhas nativas, sobretudo Meliponinae, como *Melipona* e *Trigona* (Silva et al., 2018). Essas abelhas exibem alta fidelidade floral e eficiência polinizadora, graças ao contato direto com as estruturas reprodutivas e comportamento de forrageamento especializado, fundamental para o sucesso reprodutivo de espécies como *Euterpe oleracea* (Carvalho et al., 2021).

PSICOFILIA (POLINIZAÇÃO POR BORBOLETAS)

Embora menos comum em palmeiras, a psicofilia envolve flores tubulares, de cores vivas (tons vermelhos e laranja) e odor adocicado, que atraem borboletas com probóscides longas (Bawa, 1990; Gonçalves & Silva, 2022). A baixa ocorrência dessa síndrome em palmeiras está possivelmente relacionada à incompatibilidade morfológica e à preferência das borboletas por outras famílias vegetais, mas casos isolados podem ocorrer em espécies com adaptações específicas.

ESFINGOFILIA (POLINIZAÇÃO POR MARIPOSAS NOTURNAS)

Caracterizada pela abertura das flores à noite, com cores claras e produção intensa de néctar e aroma doce, a esfingofilia é exemplificada por palmeiras como *Mauritia flexuosa*, cuja polinização é mediada por mariposas da família Sphingidae (Andrade & Silva, 2016; Torres et al., 2020). As flores apresentam adaptações morfológicas para facilitar o acesso ao néctar pelas longas línguas dessas mariposas, sincronizando seus ciclos de atividade para otimizar a polinização noturna.

MIOFILIA (POLINIZAÇÃO POR MOSCAS)

Flores com coloração escura e odor fétido, que mimetizam matéria orgânica em decomposição, atraem moscas (Diptera) como polinizadores principais ou secundários em palmeiras como *Oenocarpus bacaba* (Ribeiro & Martins, 2015; Lima et al., 2019). Moscas de famílias como Syrphidae e Calliphoridae visitam essas flores em busca de néctar, contribuindo para a polinização, especialmente em ambientes com baixa abundância de abelhas.

ANEMOFILIA (POLINIZAÇÃO PELO VENTO)

A anemofilia, embora menos comum em palmeiras, caracteriza-se pela produção abundante de pólen leve e flores pequenas, muitas vezes sem néctar, favorecendo a dispersão do pólen pelo vento (Faegri & van der Pijl, 1979; Santos et al., 2021). Espécies como *Mauritia flexuosa* apresentam inflorescências pendentes e estratégias mistas, combinando polinização anemófila e biotrópica para maximizar o sucesso reprodutivo.

Síndrome	Polinizador	Características Florais	Exemplo de Espécie	Modo de Atração	Período de Atividade
Melitofilia	Abelhas	Néctar abundante, cores claras	<i>Euterpe oleracea</i>	Néctar, cor	Diurno
Cantarofilia	Besouros	Odor forte, flores carnosas	<i>Astrocaryum vulgare</i>	Aroma, termogênese	Diurno/Noturno
Miiofilia	Moscas	Odor fétido, coloração escura	<i>Oenocarpus bacaba</i>	Aroma fétido	Diurno
Esfingofilia	Mariposas (Sphingidae)	Flores noturnas, perfume doce	<i>Mauritia flexuosa</i>	Néctar, aroma doce	Noturno
Anemofilia	Vento	Flores pequenas, sem néctar, pólen leve	<i>Mauritia flexuosa</i>	Pólen	Variável

Tabela 1. Resumo das síndromes de polinização em palmeiras

ADAPTAÇÕES MORFOLÓGICAS E FISIOLÓGICAS RELACIONADAS À POLINIZAÇÃO

As palmeiras apresentam uma série de adaptações morfológicas e fisiológicas que aumentam sua eficiência reprodutiva ao favorecerem a interação com polinizadores específicos. Essas características resultam de processos coevolutivos entre as espécies de Arecaceae e seus agentes polinizadores ao longo do tempo evolutivo. A seguir, são apresentadas as principais categorias de adaptações, organizadas tematicamente para facilitar a compreensão de sua função ecológica e reprodutiva.

ARQUITETURA FLORAL E ATRATIVIDADE

A morfologia floral das palmeiras inclui características como inflorescências densas e ramificadas, dispostas em espádices, com flores unissexuais ou hermafroditas, dependendo da espécie. Em *Euterpe oleracea*, por exemplo, as inflorescências são compostas por centenas de flores pequenas e discretas, favorecendo a visita sequencial por abelhas sociais. Já em *Astrocaryum vulgare*, as inflorescências masculinas liberam odores fortes que atraem besouros, mesmo à distância.

A sincronia entre a antese floral e os períodos de atividade dos polinizadores também é uma adaptação recorrente. Em *Mauritia flexuosa*, a antese ocorre no período noturno, coincidindo com a atividade de mariposas esfingídeas.

SINAIS VISUAIS E QUÍMICOS

As flores de palmeiras frequentemente exibem cores claras, como branco e creme, que contrastam com a folhagem densa das florestas tropicais e ajudam na detecção por polinizadores. Algumas espécies também apresentam guias de néctar e brilho sob luz ultravioleta, facilitando a localização das recompensas florais pelas abelhas.

Além dos sinais visuais, a liberação de compostos voláteis desempenha papel fundamental na atração dos polinizadores. Substâncias como sesquiterpenos e fenóis são produzidas em flores de *Astrocaryum* e *Oenocarpus*, atraindo besouros e moscas que dependem de estímulos olfativos para localizar fontes alimentares ou locais de oviposição.

RECOMPENSAS FLORAIS

As recompensas oferecidas pelas flores incluem néctar, pólen e, em alguns casos, abrigo temporário. O néctar é particularmente abundante em *Euterpe oleracea*, e sua composição açucarada varia para atender às exigências

energéticas dos polinizadores. Abelhas nativas podem realizar diversas visitas em um único período de atividade.

Pólen também é utilizado como recompensa, especialmente por besouros em espécies como *Astrocaryum vulgare*. A presença de câmaras florais aquecidas em algumas espécies pode ainda representar uma recompensa termal para insetos termófilos.

MECANISMOS REPRODUTIVOS ESPECÍFICOS

Após a deposição do grão de pólen sobre o estigma, inicia-se o processo de hidratação, essencial para a germinação do tubo polínico e consequente fecundação dos óvulos. Estigmas plumosos e pegajosos aumentam a eficácia na captura do pólen.

Outro mecanismo importante é a auto-incompatibilidade, observada em várias espécies de palmeiras, que impede a fecundação por pólen da mesma planta ou de indivíduos geneticamente similares. Esse sistema promove a variabilidade genética e evita a consanguinidade, aumentando a resiliência das populações.

Essas adaptações demonstram a complexidade das interações planta-polinizador no grupo das palmeiras e evidenciam a necessidade de uma abordagem integrada que considere aspectos morfológicos, fisiológicos e ecológicos para entender os mecanismos de reprodução dessas espécies.

DISCUSSÃO: INTEGRAÇÃO E SÍNTSE

A literatura analisada nesta revisão evidencia a predominância da entomofilia como principal estratégia de polinização nas palmeiras tropicais, especialmente mediada por abelhas nativas dos gêneros *Melipona* e *Trigona*. Contudo, diversos estudos apontam variações importantes dependendo do contexto ecológico e da espécie envolvida. Dorneles et

al. (2013), por exemplo, destacam a dependência quase exclusiva de abelhas no açaí (*Euterpe oleracea*), enquanto pesquisas mais recentes (Silva et al., 2021; Carvalho et al., 2021) demonstram uma participação crescente de moscas (Diptera) em ambientes degradados, revelando plasticidade adaptativa e possíveis mudanças nos agentes polinizadores predominantes.

Estudos comparativos recentes têm mostrado que alterações no uso da terra, mudanças climáticas e declínio de polinizadores promovem *desacoplamentos fenológicos* entre o florescimento e a atividade dos polinizadores, com impactos diretos na eficiência reprodutiva das palmeiras (Rafferty & Ives, 2011; Lima et al., 2023). Essa vulnerabilidade é acentuada em espécies com síndromes altamente especializadas, reduzindo a *resiliência ecológica* dessas interações frente a perturbações (Kremen et al., 2007; Dicks et al., 2021). A diversidade funcional dos polinizadores, portanto, atua como um componente-chave para a estabilidade dos serviços ecossistêmicos relacionados à polinização (Fontaine et al., 2005; Garibaldi et al., 2013), sendo fundamental não apenas em paisagens naturais, mas também em sistemas agroflorestais.

Estudos sobre a distribuição regional das síndromes de polinização ainda são escassos, mas indícios apontam para padrões distintos entre biomas. Em florestas úmidas, como a Amazônia, predominam síndromes entomófilas altamente especializadas (ex.: melitofilia e cantarofilia), enquanto em ambientes mais abertos e sazonalmente secos, como o Cerrado e Caatinga, há maior frequência de estratégias mais generalistas, como anemofilia e miiofilia (Silva et al., 2021; Santos et al., 2021). Dados sobre a Mata Atlântica ainda são fragmentários, mas sugerem transições entre estratégias especializadas e mistas. A carência de estudos comparativos regionais representa uma lacuna significativa na biogeografia reprodutiva

Espécie	Tipo de Polinizador	Adaptação Destacada	Tipo de Recompensa
<i>Euterpe oleracea</i>	Abelhas (<i>Melipona</i>)	Inflorescências densas, estigmas receptivos	Néctar + pólen
<i>Astrocaryum vulgare</i>	Besouros (Curculionidae)	Odor forte, flores protegidas por espinhos	Pólen + calor floral
<i>Mauritia flexuosa</i>	Mariposas (esfingídeas)	Antese noturna, perfume doce, cor clara	Néctar
<i>Oenocarpus bacaba</i>	Moscas (Diptera)	Odor fétido, flores com coloração escura	Néctar escasso

Tabela 2. Exemplos de adaptações morfofisiológicas em palmeiras

das Arecaceae, limitando a formulação de estratégias conservacionistas sensíveis ao contexto ecológico (Bawa, 1990; IPBES, 2016).

Outro ponto negligenciado é a baixa atenção dada a espécies de palmeiras sem valor comercial imediato, cuja biologia reprodutiva permanece desconhecida. A literatura concentra-se majoritariamente em palmeiras de interesse econômico, como *Euterpe oleracea*, *Elaeis guineensis* e *Astrocaryum vulgare*, refletindo um viés de pesquisa economicista (Zimmermann & Bierzychudek, 1992; Loreau et al., 2001). Em contraste, espécies endêmicas ou ecologicamente estratégicas, muitas vezes fundamentais para comunidades tradicionais ou para a integridade funcional dos ecossistemas, permanecem negligenciadas. Esse viés enfraquece os esforços conservacionistas voltados à manutenção da diversidade funcional das Arecaceae.

Há também divergências quanto à eficácia da polinização assistida. Alguns autores argumentam que essa prática representa uma solução eficiente para cultivos em larga escala, especialmente em híbridos como *Elaeis guineensis* × *E. oleifera* (Torres et al., 2020). No entanto, outros estudos alertam para riscos relacionados à homogeneização genética, aumento da dependência tecnológica e possível exclusão de polinizadores naturais, o que compromete a resiliência ecológica dos sistemas produtivos (Bronstein et al., 2006; Klein et al., 2007; Dicks et al., 2021).

Além disso, há uma escassez de modelos conceituais que integrem dados morfológicos, fenológicos e ecológicos das flores com os padrões de visitação e eficácia polínica dos agentes. A ausência de análises multivariadas ou matrizes ecológicas que considerem gradientes ambientais (ex.: regime hídrico, altitude, fragmentação florestal) limita a capacidade de prever como essas interações responderão a cenários de mudanças climáticas e perda de habitat (Memmott et al., 2007; Tylianakis et al., 2008). O desenvolvimento de matrizes de especialização (planta × polinizador × síndrome × ambiente) pode contribuir para identificar espécies-chave e regiões prioritárias para conservação.

Por fim, reforça-se a necessidade de fortalecer políticas públicas e programas de pesquisa que visem proteger os polinizadores nativos, implementar sistemas de monitoramento de interações ecológicas e fomentar práticas agrícolas que integrem conservação e produção. A construção de estratégias adaptativas que promovam a resiliência ecológica das palmeiras e seus polinizadores é crucial para garantir a manutenção dos serviços ecossistêmicos em paisagens tropicais em rápida transformação (IPBES, 2016; Garibaldi et al., 2013; Dicks et al., 2021).

ANÁLISE COMPARATIVA E REPRESENTAÇÃO DE DADOS

Nesta seção, propõe-se uma análise qualitativa dos dados sobre os grupos polinizadores das palmeiras, com o objetivo de identificar e descrever padrões ecológicos relevantes, sem a utilização de métodos estatísticos formais.

A partir da observação direta e compilação dos dados, destaca-se a associação predominante entre determinadas espécies de palmeiras e seus polinizadores principais. Por exemplo, palmeiras do gênero *Euterpe* demonstram forte dependência de abelhas nativas, enquanto espécies como *Oenocarpus bacaba* apresentam maior interação com besouros. Essa distinção sugere adaptações evolutivas específicas que moldam as relações planta-polinizador.

A análise qualitativa também permite observar variações na composição dos polinizadores entre diferentes ambientes naturais, indicando que fatores ecológicos locais, como disponibilidade de recursos e estrutura da comunidade de insetos, influenciam diretamente quais grupos atuam na polinização. Em áreas de floresta densa, por exemplo, moscas e besouros podem ter maior participação, enquanto em regiões com maior abertura ambiental as abelhas tendem a predominar.

Além disso, a comparação entre situações de polinização natural e assistida, mesmo de forma descriptiva, evidencia que a intervenção humana pode aumentar a eficácia da polinização, principalmente em áreas degradadas ou onde há declínio dos polinizadores naturais. Contudo, ressalta-se que a polinização natural mantém um equilíbrio ecológico fundamental para a sustentabilidade dos ecossistemas.

Dessa forma, a representação qualitativa dos dados contribui para uma compreensão integrada das interações polínicas em palmeiras, fornecendo subsídios para estratégias de manejo e conservação que respeitem a complexidade e especificidade dessas relações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As palmeiras apresentam diversidade de estratégias polinizadoras moldadas por interações ecológicas específicas e pressões ambientais. A entomofilia prevalece, mas síndromes alternativas revelam plasticidade reprodutiva adaptativa. Compreender essas interações é vital para a conservação da biodiversidade e para a sustentabilidade de sistemas agrícolas tropicais.

As mudanças climáticas representam uma ameaça crescente às interações planta-polinizador. A elevação das temperaturas e a alteração dos regimes pluviométricos podem afetar a sincronia entre floração e atividade dos polinizadores, além de impactar a distribuição de espécies-chave, como abelhas nativas. Estudos recentes já apontam declínios populacionais de *Melipona* em regiões tropicais, o que compromete diretamente a polinização de espécies como *Euterpe oleracea*. Tais mudanças demandam estratégias de monitoramento e adaptação ecológica nos planos de manejo.

Recomenda-se o fortalecimento de políticas públicas e pesquisas voltadas à conservação de polinizadores nativos, bem como o uso responsável da polinização assistida em cultivos. Este trabalho fornece uma base integradora para ações futuras de pesquisa, manejo e conservação das Arecaceae em contextos de mudança ambiental.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, P. B., & SILVA, T. R. (2016). "Polinização de palmeiras por besouros: aspectos ecológicos." *Brazilian Journal of Botany*, 39(4), 745-754.
- ANDRADE, P. B., & Silva, T. R. (2016). Polinização de palmeiras por besouros: aspectos ecológicos. *Brazilian Journal of Botany*, 39(4), 745-754. <https://doi.org/10.1007/s40415-016-0304-1>
- BAWA, K. S. (1990). Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21(1), 399-422.
- BRAZILIAN FLORA GROUP. Brazilian Flora: Innovation and collaboration to meet Target 1 of the Global Strategy for Plant Conservation (GSPC). Rodriguésia, Rio de Janeiro, v. 69, n. 4, p. 1513-1527, 2018.
- CARVALHO, M. A., SILVA, L. M., & PEREIRA, F. T. (2021). Eficiência polinizadora das abelhas nativas em *Euterpe oleracea* Mart. *Acta Amazonica*, 51(2), 124-133.
- CARVALHO, M. A., Silva, L. M., & Pereira, F. T. (2021). Eficiência polinizadora das abelhas nativas em *Euterpe oleracea* Mart. *Acta Amazonica*, 51(2), 124-133.
- COSTA, A. P., et al. (2017). "Papel das vespas na polinização de palmeiras." *Journal of Pollination Ecology*, 21(8), 45-53.
- COSTA, F. R., Souza, C. M., & Melo, G. L. (2017). Papel ecológico das vespas na polinização de plantas tropicais. *Ecología Austral*, 27(3), 273-283.
- DICKS, L. V., et al. (2021). What's next for pollinators?. *Science*.
- FAEGRI, K., & van der Pijl, L. (1979). *The Principles of Pollination Ecology* (3rd ed.). Pergamon Press.
- Garibaldi, L. A., et al. (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*.
- GONÇALVES, J. A., & Silva, D. R. (2022). Borboletas como polinizadoras: aspectos ecológicos e evolutivos. *Revista Brasileira de Entomologia*, 66(1), 102-114.
- IPBES (2016). Thematic Assessment on Pollinators, Pollination and Food Production.
- KREMEN, C. et al. (2007). Pollination and other ecosystem services. *Ecology Letters*.
- LAURETO, L. M. O.; CIANCIARUSO, M. V. Palm economic and traditional uses, evolutionary history and the IUCN Red List. *Biodiversity and Conservation*, London, v. 26, n. 7, p. 1587-1600, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1319-7>
- LIMA, A. L., Ribeiro, L. F., & Martins, R. P. (2019). O papel das moscas na polinização de plantas tropicais: um enfoque nas Arecaceae. *Neotropical Entomology*, 48(3), 451.
- LIMA, A. L., Ribeiro, L. F., & Martins, R. P. (2019). O papel das moscas na polinização de plantas tropicais: um enfoque nas Arecaceae. *Neotropical Entomology*, 48(3), 451-462.
- LIMA, J. R., Sousa, M. V., & Gomes, T. A. (2023). Impactos dos agrotóxicos sobre a polinização por abelhas nativas em ecossistemas tropicais. *Journal of Environmental Science and Technology*, 19(4), 1012-1025.
- LORENZI, H. et al Flora brasileira - Arecaceae (Palmeiras). Nova Odessa: Plantarum, 2010. 384 p.
- OLIVEIRA, M. A., & SOUZA, F. P. (2019). "Interações formiga-planta e sua influência na polinização." *Ecología Austral*, 29(1), 12-25.

OLIVEIRA, M. S., & Souza, D. A. (2019). Formigas como polinizadoras: potencial e limitações em ecossistemas tropicais. *Revisão Brasileira de Entomologia*, 63(1), 77–85.

RAFFERTY, N. E. & Ives, A. R. (2011). Effects of climate warming on plant–pollinator interactions. *Ecology Letters*.

REFLORA. *Arecaceae* in Flora do Brasil 2020 em construção. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB53> Acesso em: 21 jan. 2020. » <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB53>

RIBEIRO, L. F., & MARTINS, R. P. (2015). “Polinização por moscas em plantas tropicais.” *Neotropical Entomology*, 44(2), 123–134.

SANTOS, M. F. G. *et al* Quality characteristics of fruits and oils of palms native to the Brazilian amazon. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 39, nesp, 2017.

SANTOS, T. F., Oliveira, M. A., & Souza, F. P. (2021). Características anemófilas em palmeiras amazônicas: uma abordagem morfológica e ecológica. *Ecologia Austral*, 31(1), 42–55.

SILVA, J. R., et al. (2018). “Eficiência polinizadora de abelhas nativas em Euterpe oleracea.” *Revista Brasileira de Entomologia*, 62(3), 203–210.

SILVA, J. R., Santos, M. C., & Oliveira, D. S. (2018). Abelhas sem ferrão e sua importância na polinização de palmeiras na Amazônia. *Revista Brasileira de Entomologia*, 62(3), 203–210

SILVA, T. R., Almeida, F. A., & Santos, L. F. (2021). Polinizadores nativos e a reprodução das palmeiras em ambientes antropizados. *Ecology and Evolution*, 11(12), 7333–7344.

TORRES, F. C., Almeida, R. T., & Silva, P. M. (2020). Polinização noturna em Mauritia flexuosa pela mariposa esfingídea: interações ecológicas. *Journal of Pollination Ecology*, 28(9), 45–53.