



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL CAMPUS

ERECHIM

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

ÊMILI DA SILVA PICETA

**SÍNDROME DE QUIROPTEROFILIA EM MORCEGOS FILOSTOMÍDEOS
(CHIROPTERA, PHYLLOSTOMIDAE): UMA REVISÃO DE LITERATURA**

ERECHIM

2024

ÊMILI DA SILVA PICETA

**SÍNDROME DE QUIROPTEROFILIA EM MORCEGOS FILOSTOMÍDEOS
(CHIROPTERA, PHYLLOSTOMIDAE): UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, sob a orientação do Prof. Dr. Daniel Galiano e co-orientação da Profa. Dra. Gisele Leite de Lima Primam.

ERECHIM

2024

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Piceta, Êmili da Silva

SÍNDROME DE QUIROPTEROFILIA EM MORCEGOS FILOSTOMÍDEOS
(CHIROPTERA, PHYLLOSTOMIDAE): UMA REVISÃO DE LITERATURA
/ Êmili da Silva Piceta. -- 2024.

51 f.

Orientador: Doutor Daniel Galiano

Co-orientadora: Doutora Gisele Leite de Lima Primam
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da
Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia Ambiental, Erechim, RS, 2024.

1. Biologia da conservação. 2. Fragmentação de
habitats. 3. Mammalia. 4. Polinização. I. Galiano,
Daniel, orient. II. Primam, Gisele Leite de Lima,
co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul.
IV. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

ÊMILI DA SILVA PICETA

**SÍNDROME DE QUIROPTEROFILIA EM MORCEGOS FILOSTOMÍDEOS
(CHIROPTERA, PHYLLOSTOMIDAE): UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da
Fronteira Sul, como requisito parcial para obtenção do título de
Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 30/09/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Daniel Galiano – UFFS
Orientador

Profa. Dra. Gisele Leite de Lima Primam – UFFS
Co-orientadora

Prof. Dr. Paulo Hartmann – UFFS

Prof. Dr. Bruno Busnello Kubiak – AMBIOS

RESUMO

A polinização é um processo vital para a reprodução das plantas, desempenhando um papel fundamental na manutenção da biodiversidade e com significativos impactos econômicos. A variabilidade genética e a polinização cruzada das plantas dependem de polinizadores eficientes. Entre os vertebrados que atuam nesse processo, os morcegos filostomídeos se destacam como polinizadores essenciais. Para garantir a eficiência da polinização, muitas plantas desenvolveram adaptações específicas, conhecidas como síndromes de polinização, sendo a quiropterofilia a síndrome adaptada à polinização por morcegos. As plantas quiropterófilas apresentam características morfológicas ajustadas às interações com esses animais, que, por sua vez, possuem hábitos alimentares baseados em recursos florais, grande porte, capacidade de deslocamento em longas distâncias e uma pelagem especializada para o transporte de pólen, tornando-os polinizadores de grande importância ecológica e econômica. Este estudo apresenta uma revisão de literatura focada na análise da relevância e impacto das pesquisas sobre a polinização realizada por morcegos. Explora como essas pesquisas contribuem para a conservação da biodiversidade e para o suporte a ecossistemas e atividades econômicas. A revisão mapeia as principais áreas de investigação, identifica tendências emergentes e lacunas no conhecimento sobre a interação entre morcegos e plantas. Além disso, discute os desafios enfrentados pelos pesquisadores, como limitações metodológicas e dificuldades na coleta de dados, oferecendo uma visão detalhada das oportunidades e obstáculos no campo da quiropterofilia.

Palavras-chave: biologia da conservação, fragmentação de habitats, Mammalia, polinização.

ABSTRACT

Pollination is a vital process for plant reproduction, playing a fundamental role in maintaining biodiversity and with significant economic impacts. Genetic variability and cross-pollination of plants depend on efficient pollinators. Among the vertebrates that act in this process, phyllostomid bats stand out as essential pollinators. To ensure efficient pollination, many plants have developed specific adaptations, known as pollination syndromes, with chiropterophily being the syndrome adapted to pollination by bats. Chiropterophilous plants have morphological characteristics adjusted to interactions with these animals, which, in turn, have feeding habits based on floral resources, large size, ability to move over long distances and a specialized coat for transporting pollen, making them pollinators of great ecological and economic importance. This study presents a literature review focused on analyzing the relevance and impact of research on pollination carried out by bats. It explores how this research contributes to the conservation of biodiversity and to the support of ecosystems and economic activities. The review maps key areas of research, identifies emerging trends and gaps in knowledge about bat-plant interactions. It also discusses challenges faced by researchers, such as methodological limitations and difficulties in data collection, providing a detailed overview of opportunities and obstacles in the field of bat biology.

Keywords: conservation biology, habitat fragmentation, Mammalia, pollination.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 1	Categorias das funções ecossistêmicas e suas descrições.	12
Figura 2	Diagrama com exemplos de benefícios fornecidos por cada categoria de serviços ecossistêmicos.	14

CAPÍTULO 1

Figura 1	Flowchart of the pollination process, detailing the types of pollination, pollinating agents, pollination mechanisms, and the ecological and economic importance of pollination.	30
Figura 2	Flowchart of chiropterophily syndrome: Bats and their morphological characteristics, flower visitation patterns, and plant traits developed to attract bats, emphasizing the ecological and economic significance of chiropterophily.	32
Figura 3	Annual evolution of the number of articles published from 2004 to 2024.	36
Figura 4	Countries' contributions to scientific production on chiropterophily. Darker shades indicate more significant contributions, highlighting countries with higher production and relevance. Lighter shades reflect fewer contributions, signaling countries with less research focus in this topic. The data presented are in line with the parameters analyzed in the study for the period from 2004 to 2024.	37
Figura 5	Number of scientific contributions on chiropterophily by country. The values correspond to data from the selected bibliometric databases.	37

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1	Descrição das síndromes de polinização.	17
Tabela 1	Main information resulting from the bibliometric analysis using the terms “Phyllostomidae”, “Bat Pollination”, “Pollination”, “Bats and Pollen” and “Chiropterophily and Atlantic Forest” over the past 20 years from the Scopus, Web of Science and PubMed databases.	
Tabela 2	Authors, year of publication, title of publication and number of citations of the 10 most cited publications during the period analyzed.	39

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 A polinização e sua importância como serviço ecossistêmico	13
2.2 Síndromes de polinização e quiropterofilia	18
2.3 Morcegos filostomídeos como agentes polinizadores.....	20
3. OBJETIVOS	22
3.1 Objetivo geral.....	22
3.2 Objetivos específicos.....	22
CAPÍTULO 1	29

1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica, a segunda maior floresta tropical da América, estende-se pelo leste do Brasil, partes da Argentina e Paraguai. Devido à sua localização geográfica isolada por biomas áridos, é considerada uma "ilha florestada" no leste da América do Sul (Ab'Saber, 1977; Galindo-Leal e Câmara, 2005). A Mata Atlântica destaca-se por sua extraordinária biodiversidade, com mais de 20.000 espécies de plantas, sendo pelo menos 6.000 endêmicas, número que excede o de muitos países. Entre os vertebrados terrestres, a região abriga 2.645 espécies, incluindo 384 espécies de mamíferos, das quais pelo menos 109 são exclusivas, 1.025 aves, sendo 215 endêmicas, 517 espécies de répteis com 126 endêmicas, e 719 espécies de anfíbios, dos quais 504 são únicos dessa floresta (Marques e Grelle, 2021). No entanto, sua área original, que chegava a 1.360.000 km², foi drasticamente reduzida devido às ações antrópicas desde a colonização, restando hoje cerca de 12% de sua cobertura inicial (Capellesso et al., 2020). De acordo com os dados mais recentes da coleção 9 do MapBiomas (2024), a cobertura natural da Mata Atlântica é composta atualmente por cerca de 32% da área original do bioma. Destes, aproximadamente 26% consistem em áreas florestais, que se encontram em diferentes estágios de regeneração, variando de florestas secundárias recentes a áreas mais maduras. O restante, constituído por cerca de 6%, inclui outras formações naturais típicas do bioma, como savanas, mangues e restingas.

Ainda conforme a coleção 9 do MapBiomas (2024), a Mata Atlântica apresenta áreas de vegetação primária e secundária. As áreas de vegetação primária, com pouca interferência humana, são fundamentais para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, mas hoje, apenas uma pequena parte do bioma corresponde a essa cobertura. Já as florestas secundárias, que se encontram em regeneração após degradações anteriores, é parte de um processo contínuo de resiliência ecológica e mitigação de impactos ambientais no contexto das pressões antrópicas na Mata Atlântica.

A perda significativa de vegetação na Mata Atlântica levou à fragmentação dos habitats, impactando gravemente a biodiversidade local e alterando a composição das comunidades de plantas e animais (Jardim e Melo, 2020). A fragmentação gera uma alteração da estrutura e funcionamento das comunidades e sistemas naturais, afetando a dinâmica das populações e a capacidade dos ecossistemas de responderem às mudanças ambientais. Esses efeitos tornam essencial o estudo contínuo das espécies e das interações entre elas, para compreender como os ecossistemas podem ser restaurados e preservados de forma eficaz (Rocha et al., 2020; Fundação SOS Mata Atlântica, 2023).

Na região do Alto Uruguai, no norte do Rio Grande do Sul, a vegetação é dominada por duas formações principais: a Floresta Estacional Decidua (FED) e a Floresta Ombrófila Mista (FOM). A FED, que se caracteriza pela perda sazonal de folhas e uma rica diversidade de espécies lenhosas, é uma das fitofisionomias mais ameaçadas da Mata Atlântica. Atualmente, apenas 4,2% de sua área original permanece preservada, devido principalmente à exploração madeireira e à expansão agrícola (Ruschel et al., 2009; Fundação SOS Mata Atlântica, 2022). A FOM, por sua vez, é conhecida por suas imponentes araucárias e também enfrentou uma degradação significativa, com apenas cerca de 4% de sua área original ainda existente (Klauber et al., 2010).

A Mata Atlântica, amplamente reconhecida como o bioma mais ameaçado e devastado do planeta, requer com urgência a realização de estudos que visem sua conservação e a recuperação de áreas degradadas. Esses esforços são essenciais para preservar o ecossistema e garantir a qualidade de vida das populações que dele dependem. A manutenção ambiental está diretamente ligada ao equilíbrio entre fauna e flora, assegurando que processos ecológicos cruciais, como a polinização e a dispersão de sementes, ocorram de maneira eficaz (Oliveira; Santos, 2022). Polinizadores, como os morcegos, têm papel essencial, auxiliando na regeneração natural e dispersão de sementes de diversas espécies vegetais, contribuindo para a biodiversidade (Silveira et al., 2021; Fleming; Kalko, 2020; Frick; Richter; Kunz, 2021). Contudo, na Floresta Ombrófila Mista e Estacional Semidecidual, ainda há lacunas de conhecimento sobre essas interações, destacando a necessidade de mais pesquisas para desenvolver estratégias de conservação eficazes (Garcia et al., 2023).

Os morcegos, mamíferos da ordem Chiroptera, compõem um dos grupos mais diversos, com mais de 1.400 espécies mundialmente, representando cerca de 23% das espécies conhecidas de mamíferos (Simmons & Cirranello, 2022; Burgin et al., 2018). No Brasil, de acordo com a lista atualizada da Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros (SBMz, 2022), são registradas 9 famílias e 184 espécies. A ordem Chiroptera é a segunda com maior riqueza de espécies entre os mamíferos, sendo superada apenas pela ordem Rodentia (Simmons & Cirranello, 2022; Burgin et al., 2018).

Os morcegos, de porte médio e hábitos noturnos, utilizam ecolocalização e possuem asas adaptadas para voos ágeis. Sua coloração varia de preto e pardo a tons mais claros, dependendo da espécie. Eles habitam diversos ambientes, desde cavernas e ocos de árvores até áreas urbanas como pontes e forros de prédios. A dieta é ampla e inclui hábitos carnívoros, onívoros, piscívoros, polinívoros, nectarívoros, frugívoros e hematófagos, com adaptações morfológicas específicas (Reis et al., 2007). Biologicamente, os morcegos frugívoros são essenciais para a

dispersão de pólen e sementes, promovendo a regeneração das florestas tropicais. Morcegos insetívoros, por sua vez, desempenham um papel importante no controle das populações de insetos. Além disso, esses animais têm grande valor econômico, sendo utilizados em pesquisas nas áreas de medicina, epidemiologia e desenvolvimento de vacinas, evidenciando sua relevância para a ciência e a saúde humana (Reis et al., 2007).

A polinização é o processo de transferência do pólen das anteras para o estigma, podendo ocorrer na mesma flor (autopolinização) ou entre flores de indivíduos diferentes da mesma espécie (polinização cruzada). Este processo é crucial para a fertilização, originando frutos e sementes, e é mediado por agentes polinizadores, que podem ser abióticos, como o vento e a água, ou bióticos, como os animais. A polinização cruzada, em particular, aumenta a variabilidade genética das plantas, promovendo a criação de sementes geneticamente diversificadas e mais resilientes (Cane & Payton, 2023).

Os polinizadores são fundamentais para a diversidade de plantas nativas e para a produção de alimentos e biocombustíveis, além de terem grande importância econômica (Potts et al., 2006; Lamim-Guedes, 2014). Morcegos, importantes polinizadores da fauna Neotropical, desempenham papéis cruciais na polinização e dispersão de sementes. Contudo, faltam estudos detalhados sobre como eles interagem com ecossistemas como a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Estacional Decidual, evidenciando a necessidade de mais pesquisas para entender seu impacto na biodiversidade e na regeneração florestal, especialmente frente à fragmentação de habitats e perda de recursos (Oliveira & Santos, 2022; Silveira et al., 2021).

A quiropterofilia é um sistema de polinização no qual morcegos são os principais polinizadores, especialmente na região Neotropical. Flores adaptadas a morcegos têm coloração discreta, forte odor e pedicelos longos para facilitar a adesão do pólen à pelagem dos morcegos (Gardner, 2008; Fleming et al., 2009; Raven, 2014). Morcegos frugívoros e nectarívoros da família Phyllostomidae, com capacidade de voo de 10 a 50 quilômetros por noite, têm um impacto significativo na dispersão do pólen em comparação com outros polinizadores, como abelhas, que voam distâncias menores (Esbérard, 2003; Reis et al., 2007). Os morcegos são essenciais para a variabilidade genética das plantas e a manutenção dos ecossistemas, além de terem importância econômica devido às plantas que polinizam. Compreender a quiropterofilia é, portanto, vital para a conservação e gestão eficaz dos fragmentos florestais da Mata Atlântica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A polinização e sua importância como serviço ecossistêmico

O funcionamento de um ecossistema acontece por meio das suas funções ecossistêmicas, definidas pelas interações constantes entre os elementos estruturais, bióticos e abióticos de um ecossistema. As funções ecossistêmicas resultam em determinados serviços, como transferência de energia, ciclagem de nutrientes, ciclo hidrológico, regulação climática, entre outros, sendo classificadas em quatro categorias, conforme a figura 1:

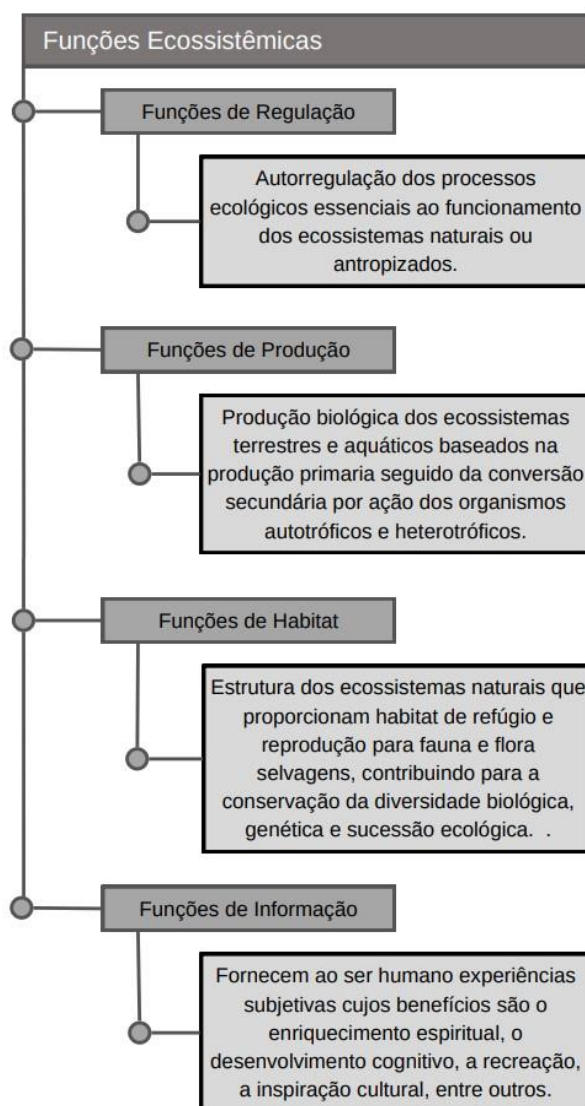


Figura 1: Categorias das funções ecossistêmicas e suas descrições.

Fonte: Adaptado de Ferraz et al., 2019.

Quando associadas com outros capitais, como recursos financeiro e mão de obra, as funções ecossistêmicas dão origem aos serviços ecossistêmicos, sendo estes úteis ao meio natural (manutenção dos ecossistemas) ou ao ser humano. (Gomes et al., 2018; Daily; Farley, 2004). É importante salientar que a ocorrência das funções ecossistêmicas independe de seu uso, demanda ou valorização social. Dessa forma, para que uma função ecossistêmica se torne um serviço ecossistêmico, é necessário que haja o fornecimento de algum tipo de benefício ao ser humano (Ferraz et al., 2019).

Segundo Daily (1997), os serviços ecossistêmicos são as condições e processos por meio dos quais os ecossistemas naturais e as espécies que os integram sustentam e possibilitam a vida humana, sendo funções reais de suporte à vida, promovendo a limpeza, reciclagem e renovação, bem como a possibilidade de colheita e comercialização de bens do ecossistema. Fisher et al. (2009), apresenta o conceito de serviços ecossistêmicos como as propriedades dos ecossistemas, utilizados de forma ativa ou passiva, visando o bem-estar humano. Neste sentido, os serviços ecossistêmicos são categorizados como: 1) Serviços de regulação: resultado das funções ecossistêmicas de regulação relacionadas aos processos ecológicos ocorrentes na biosfera terrestre. Consiste nos benefícios de regulação dos ecossistemas dando suporte à vida na Terra; 2) Serviços de provisão: associado aos produtos providos pelos ecossistemas utilizados na manutenção das populações humanas; 3) Serviços culturais: Benefícios não materiais providos pelos ecossistemas naturais ou seminaturais, ligados à manutenção do bemestar psicológico do ser humano; 4) Serviços de suporte: Oferecem condições ecológicas, estruturais e funcionais essenciais para a provisão dos demais serviços e funções ecossistêmicas (Ferraz et al., 2019). Os exemplos de benefícios fornecidos por cada categoria de serviço ecossistêmico estão descritos na Figura 2.

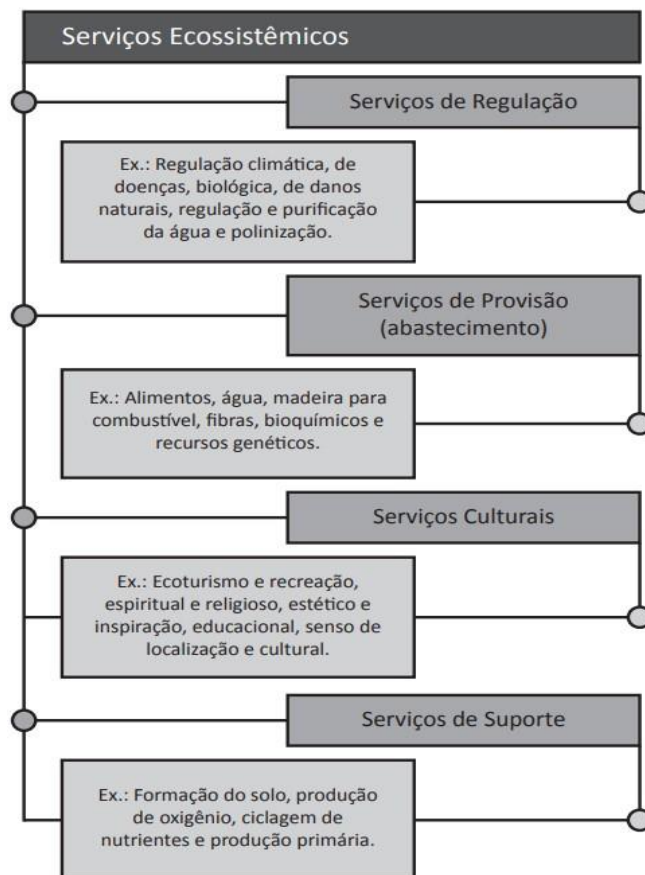


Figura 2: Diagrama com exemplos de benefícios fornecidos por cada categoria de serviços ecossistêmicos.

Fonte: Ferraz et al., 2019.

A importância econômica dos serviços ecossistêmicos retratada na definição de Daily (1997) através da colheita e comercialização dos bens do ecossistema é evidenciada por Costanza (2000), que aborda em seu estudo não só a contribuição do capital natural na produção de bens comercializáveis, mas também serviços e amenidades ecológicas que não passam pelos mercados, mas ainda assim impactam diretamente o bem-estar humano. Essa interação do sistema econômico com o capital natural acontece através da extração dos recursos naturais como alimentos, madeira, biocombustível, entre outros. Dentre os serviços ecossistêmicos de grande importância ecológica e econômica, podemos destacar a polinização, que consiste em um sistema de regulação fundamental para a reprodução de espécies vegetais e manutenção do ecossistema (Vieira et al., 2021).

Contudo, sua importância também se estende ao serviço de provisão, já que é fundamental para a produção de alimentos, fibras e outros produtos vegetais essenciais à alimentação humana e às indústrias. Sem a ação dos polinizadores, muitas culturas agrícolas não poderiam se reproduzir, o que afetaria a segurança alimentar global (Klein et al., 2021;

Ricketts et al., 2022) Portanto, a polinização desempenha não apenas uma função reguladora essencial para a manutenção do equilíbrio ecológico, mas também é crucial para o fornecimento de recursos naturais, sendo um serviço de provisão que apoia tanto a biodiversidade quanto a economia global (Klein et al., 2021; Ricketts et al., 2022). Sua capacidade de garantir a reprodução de plantas fundamentais para a alimentação e outras indústrias reforça seu valor econômico, enquanto seu impacto sobre os ecossistemas assegura a continuidade dos serviços ambientais essenciais (Klein et al., 2021; Ricketts et al., 2022).

A reprodução sexuada das plantas acontece através da polinização, definida pelo transporte dos grãos de pólen (gameta masculino) das anteras para o estigma da mesma flor (autopolinização) ou de uma flor diferente, mas da mesma espécie (polinização cruzada), onde ocorrerá a fecundação após o encontro com a oosfera (gameta feminino). O processo de polinização é um fator determinante para a fertilização, que dará origem às sementes e frutos (Ladd, 2020).

O grão de pólen, responsável por transportar o gameta masculino (núcleo espermático) até o estigma da flor, é envolvido por uma parede chamada esporoderme, que é composta por camadas com propriedades físicas e químicas específicas. A composição do pólen inclui aproximadamente 10-30% de água, 50-60% de carboidratos, 1-5% de lipídios, 10-15% de amido e proteínas. Essas proporções variam conforme a espécie de planta e o ambiente, influenciando a funcionalidade e a sobrevivência dos grãos de pólen durante o processo de polinização (Koutsou et al., 2020).

Além de promover a reprodução das plantas, a polinização exerce um papel fundamental na manutenção da diversidade de plantas nativas e composição florística, promovendo indiretamente a subsistência de guildas ecológicas que dependem de recursos florais, como herbívoros e animais que se alimentam de sementes (Barton, 2021). Em termos econômicos, a polinização contribui beneficentemente para a produção de alimentos e biocombustíveis (LamimGuedes, 2014, Galaii, 2022). A polinização também se configura como um serviço de provisão devido ao seu papel no sustento da produção agrícola e na manutenção da biodiversidade, garantindo a continuidade de diversos produtos naturais utilizados pelas indústrias alimentícia, farmacêutica e de biocombustíveis. Sua contribuição vai além da agricultura, sustentando setores econômicos amplamente dependentes de recursos naturais para seu funcionamento (Klein et al., 2021; Ricketts et al., 2022).

Em relação a cultivos agrícolas, a polinização contribui no desenvolvimento de sementes, aumento da produção e melhoramento das propriedades físicas dos alimentos (Costa et al., 2016; Wolowski et al., 2019). De acordo com Klein (2021), cerca de 75% das plantas,

sejam elas cultivadas ou silvestres que são utilizadas de forma direta ou indireta na produção de alimentos, dependem de visitantes florais para realizar a reprodução. Ainda de acordo com Wolowski et al. (2019), a maioria das espécies vegetais cultivadas não realiza a autopolinização, o que acarreta na impossibilidade de frutificação na ausência de polinizadores e, mesmo as que realizam autopolinização tem sua produção impulsionada quando há a presença de polinizadores (Garibaldi et al., 2022). Dessa forma, é notável que a polinização cruzada realizada por agentes polinizadores, auxilia não só em processos como a frutificação, pois além de possibilitar a melhora da qualidade dos frutos e sementes produzidos, a variabilidade genética, definida como a amplitude da variação genética existente para uma determinada espécie (Hoffmann et al., 2021), proveniente do processo de polinização contribui no melhoramento genético das plantas, originando cultivos menos suscetíveis e mais resistentes a pragas e patógenos.

Diante da impossibilidade de deslocar-se em busca de parceiros sexuais, as plantas utilizam intermediários para realizar a reprodução, denominados agentes polinizadores. Estes agentes podem ser classificados como abióticos (vento e água) ou bióticos (insetos, aves e mamíferos) (Righi et al., 2013). Fleming e colaboradores (2009), afirmam que a polinização biótica apresenta uma dominância significativa sobre a biologia floral das angiospermas, principalmente nos trópicos. De acordo com Ollerton et al. (2011), 87,5% das espécies de plantas existentes no mundo são polinizadas por animais, tornando a polinização biótica um fator primordial na diversificação de grandes grupos de plantas. Proporção esta que se amplia conforme o aumento da latitude das faixas do globo, chegando a 94% em comunidades de zonas temperadas. Estudos recentes indicam que esta dependência pode variar com a latitude e o tipo de habitat, sendo mais pronunciada em regiões temperadas, onde cerca de 94% das plantas são polinizadas por animais (Bartomeus et al., 2019; Dornhaus et al., 2021). A polinização cruzada, proveniente da interação planta-polinizador, é o principal fator que potencializa a variabilidade genética das plantas, sendo importante no processo de adaptação às diferentes mudanças que são impostas a estas, pois possibilitam a geração de sementes modificadas geneticamente, originando plantas mais saudáveis, mais resistentes e melhor adaptadas às dificuldades de sobrevivência dentro do ambiente em que estão inseridas (Luz e Bortolini, 2017).

Segundo Klein et al. (2021), a dispersão de pólen feita por animais representa uma contribuição de cerca de 75% na reprodução sexuada das 250 mil espécies de angiospermas conhecidas. Dentre os animais que atuam como agentes polinizadores, os animais vertebrados realizam a polinização de 3% a 15% das espécies de angiospermas conhecidas. Segundo Gibbs et al. (2020), existem cerca de 370 espécies de vertebrados que atuam como polinizadores

efetivos ou potenciais no Brasil, distribuídas em 25 famílias e 150 gêneros, abrangendo aves, morcegos, mamíferos não voadores, répteis e uma espécie de anfíbio, a rã *Xenohyla truncata*, recentemente descrita por Oliveira-Nogueira et al (2023), que apresenta um raro comportamento de alimentar-se de néctar e assim, atua como um agente polinizador.

A ocorrência da polinização por meio de animais vertebrados se dá principalmente nas regiões tropicais. As aves, mamíferos e répteis atuam como agentes polinizadores ao buscarem por recursos florais para alimentação. Nesse contexto, as espécies de vertebrados voadores desempenham um papel mais promissor na polinização do que espécies não voadoras, pois a capacidade de voar por longas distâncias favorece o fluxo polínico (Fischer et al., 2014, Sutherland et al., 2020).

2.2 Síndromes de polinização e quiropterofilia

Para otimizar o sistema de polinização, as plantas desenvolvem flores com características específicas para atrair seus polinizadores. Essas adaptações ocorrem em atributos florais como a coloração, odores, formas da flor, localização e abundância de néctar, horário de antese, entre outros (Rech et al., 2014, Koptur, 2020).

O conjunto de adaptações florais são denominadas de Síndromes de Polinização. Os animais vertebrados que realizam a polinização apresentam características morfológicas, sensoriais e fisiológicas diretamente relacionadas às características apresentadas pelas flores (Fischer et al., 2014; Rech et al., 2014; García e Vargas, 2022). O quadro abaixo sintetiza a descrição de cada síndrome de polinização.

Quadro 1: Descrição das síndromes de polinização.

Síndrome de polinização	Agente polinizador	Adaptações florais
Anemofilia	Vento	Flores sem coloração chamativa e estrutura atrativa a visitantes florais, sem néctar, inodoras, produção de pólen purulento e com pouca ornamentação.
Melitofilia	Abelhas	Flores de antese diurna, delicadas com cores intensas, odor “agradável” ao olfato humano.

		Produção de néctar em pequena quantidade e com alta concentração de açúcares.
Psicofilia	Borboletas	Flores de antese diurna, cores chamativas, nectário escondido, recurso floral consiste quase exclusivamente néctar, odor agradável, poucos grãos de pólen.
Esfingofilia (+ falenofilia)	Esfingídeos e outras mariposas noturnas	Flores de antese e liberação de odor noturna, cores claras, o néctar encontra-se profundamente escondido, produzido em grande quantidade e pouco concentrado com odor forte, sabor adocicado, podendo ser até narcótico.
Miofilia	Moscas	Flores com manchas coloridas e brilhantes, superfície viscosa e antese sem periodicidade, odor forte e desagradável. Néctar, quando presente, é de acesso livre.
Cantarofilia	Besouros	Flores de antese noturna ou crepuscular, sem coloração específica. Odores fortes que são volatilizados no início da antese.
Ornitofilia	Aves	Flores com antese diurna, com cores conspícuas, sem odor. Néctar abundante, escondido e de baixa concentração.
Quiropterofilia	Morcegos	Flores de antese noturna, com coloração pouco chamativa e odor forte. Néctar e pólen abundantes.

Fonte: Adaptado de RECH et al., 2014.

O sistema de polinização cujo agente polinizador efetivo são os morcegos é denominado quiropterofilia, sendo ocorrente em áreas dos Neotrópicos e nos Paleotrópicos (Fleming e Muchhala, 2008; Fleming et al., 2009; Furlan et al., 2012; Pavez e González, 2022). Assim como as demais plantas que apresentam um conjunto de adaptações associadas aos seus agentes polinizadores, as plantas com síndrome de quiropterofilia possuem características específicas para seu polinizador (Fleming et al., 2009; Rech et al., 2014; Raven, 2014; Pavez e González,

2022). As características clássicas de flores que são polinizadas por morcegos abrangem a antese noturna, coloração pouco evidente (geralmente brancas e verdes, mas algumas flores podem apresentar tons avermelhados e castanhos), odor forte que remete ao odor de fermentação e produção abundante de néctar rico em hexose e pólen (Fleming et al., 2009; Rech et al., 2014; Alarcón et al., 2020).

Levando em consideração o tamanho grande de seu polinizador, plantas com síndrome de quiropterofilia apresentam flores ou inflorescências grandes e robustas, frequentemente encontradas em galhos, troncos de árvores ou suspensas por hastes longas, o que as tornam flores expostas e de livre acesso. São flores predominantemente tubulares, campanuladas ou do tipo pincel; radialmente simétricas, labiadas, apresentando perianto carnoso e abertura ampla (Fleming et al., 2009; Rech et al., 2014; Lima e Machado, 2015; Alarcón et al., 2020; Pavez e González, 2022).

2.3 Morcegos filostomídeos como agentes polinizadores

A ordem Chiroptera, representada pelos morcegos, é um dos grupos de mamíferos mais antigos e especializados, abrangendo atualmente mais de 1.400 espécies, conforme o relatório mais recente da Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros (SBMz, 2022). Os representantes da ordem Chiroptera são divididos em duas subordens. A subordem Megachiroptera inclui a família Pteropodidae e tem sua ocorrência registrada nas regiões tropicais e subtropicais da África, Ásia, Austrália, Papua Nova Guiné e Ilhas do Pacífico. A subordem Microchiroptera abrange as demais famílias de morcegos com ocorrências nas regiões tropicais e subtropicais das Américas (Fleming et al., 2009).

Os morcegos são um componente importante da fauna Neotropical, destacando-se tanto pela diversidade quanto pelo papel ecológico. A ordem Chiroptera, com mais de 1.400 espécies descritas (SBMz, 2022), representa a segunda maior ordem de mamíferos em termos de riqueza, atrás apenas dos roedores (Rodentia). Na região Neotropical, existem aproximadamente 83 gêneros e cerca de 300 espécies, podendo representar até 50% da comunidade de mamíferos em algumas áreas (Fenton e Simmons, 2022). No Brasil, cerca de 60% das espécies de morcegos são encontradas no bioma Mata Atlântica (Moraes et al., 2023).

Dentro da ordem Chiroptera, duas famílias abrangem os morcegos que se utilizam de recursos florais para a alimentação: Pteropodidae (raposas voadoras do Velho Mundo) e Phyllostomidae (morcego-nariz-de-folha-americano) (Fleming et al., 2009; Lima e Fenton, 2023; Simmons e Cirranello, 2022).

A família Phyllostomidae compreende cerca de mais de 160 espécies de morcegos nariz de folha, com ocorrências nas regiões tropicais e subtropicais do Novo Mundo (Simmons e Cirranello, (2022)). Os integrantes desta família apresentam uma característica morfológica muito marcante que permite o seu fácil reconhecimento: a presença de uma folha nasal membranosa em formato de lança ou folha, localizada na extremidade do seu focinho, com tamanhos que podem variar, podendo ser longa ou reduzida, (Reis, 2007). Os morcegos da família Phyllostomidae apresentam características distintivas, como a ausência do processo pós-orbital, asas largas e variação no tamanho da cauda e na membrana interfemural. O terceiro dedo possui três falanges completas, e a pelagem pode variar de castanho claro a castanho escuro ou negro (Mormann e Kress, 2022; Davis e Carter, 2023).

Os hábitos alimentares dos indivíduos são variados, sendo eles carnívoria, onívoria, folívoria, insetívoria, frugívoria, granívoria, nectarívoria e hematofagia e estão associados com a sua diversidade morfológica (Reis, 2007). Segundo Fischer e colaboradores (2014), morcegos que se alimentam de néctar são considerados polinizadores efetivos ou até mesmo potenciais, entretanto, não são somente estes animais que realizam visitas florais. Morcegos insetívoros e carnívoros também realizam visitas florais em busca do consumo de pólen, considerando a sua riqueza em proteínas e lipídios, atuando como potenciais polinizadores.

Os morcegos frugívoros e nectarívoros que integram a família Phyllostomidae, são comumente identificados por sua alimentação derivada de frutos, néctar e pólen das plantas. Ao ir em busca destes recursos florais para alimentação, os grãos de pólen aderem-se à pelagem dos morcegos, sendo assim, transportados de uma flor para outra, promovendo a reprodução sexuada e garantindo a variabilidade genética das plantas (Fleming et al., 2020; Kalko et al., 2022).

Os morcegos desempenham um papel significativo na polinização, em cerca de 500 espécies de plantas neotropicais. Seu tamanho grande e pêlos corporais específicos, capaz de aderir uma quantidade significativa de pólen associados à sua capacidade ampla de deslocamento possibilita que os grãos de pólen sejam dispersos a uma distância maior, considerando que a capacidade de voo dos morcegos pode variar entre 10 a 50 quilômetros em uma única noite (Fleming et al., 2021; López-Baucells et al., 2022), enquanto outros polinizadores apresentam uma capacidade de voo menor, como as abelhas, por exemplo, cuja capacidade de deslocamento é de cerca de 3 quilômetros (Reis, et al. 2007; Fleming et al., 2009).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão sistemática de literatura sobre a síndrome de quiropterofilia, fazendo o uso da ferramenta Bibliometrix para mapeamento e análise da produção científica existente, fornecendo uma visão abrangente e crítica do estado atual da pesquisa sobre o tema.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar uma análise de produções científicas relacionadas à quiropterofilia, por meio de indicadores bibliométricos como artigos, livros e teses, com o propósito de avaliar a relevância científica das pesquisas sobre quiropterofilia, bem como compreender e ressaltar o papel biológico e econômico da polinização por morcegos na manutenção da biodiversidade, suporte aos ecossistemas e atividades econômicas.
- Identificar e avaliar as principais tendências de publicação, áreas de pesquisa emergentes e lacunas no conhecimento sobre a interação entre morcegos e plantas, com ênfase na polinização.
- Apontar e discutir as principais dificuldades enfrentadas na realização e pesquisas sobre a síndrome de quiropterofilia, incluindo desafios metodológicos, limitações tecnológicas e obstáculos na observação e coleta de dados sobre a interação entre morcegos polinizadores e plantas.

REFERÊNCIAS

- Ab'Saber, A. N.** 2007. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. 4. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 151 p.
- Alarcón, R., Sargent, R. D., & Martin, A. E.** 2020. Floral adaptations to bat pollination in tropical environments: A comprehensive review. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 194(2), 143-160.
- Bartomeus, I., et al.** 2019. The role of pollinators in the reproduction of plants and crops. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 48, p. 144-149.
- Barton, P. S.; Lindh, S.; Doran, M.; Smith, D. M.** 2021. Pollination and its impact on ecosystem services and biodiversity. *Ecology and Evolution*, v. 11(3), p. 1221-1235. <https://doi.org/10.1002/ece3.7341>

- Burgin, C. J.; Colella, J. P.; Kahn, P. L.; Upham, N. S.** 2018. How many species of mammals are there? *Journal of Mammalogy*, v. 99(1), p; 1-14. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyx120>
- Buzato, S., Gianini, T. C., Machado, I. C., Sazima, M., Sazima, I.** 2011. Polinizadores vertebrados: Uma visão geral para as espécies brasileiras. In: *Polinizadores no Brasil; contribuição e perspectivas iniciais para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais*. Imperatriz-Fonseca, V.L., Canhos, D.A.L., Saraiva, A.,M.
- Cane, J. H.; Payton, M. E.** 2023. *Pollination Ecology: Understanding the Role of Pollinators in Ecosystems*. Oxford University Press.
- Costa, M.; Jarmela, P.; Paula Sançana, A.; et al.** 2016. A IMPORTÂNCIA DA POLINIZAÇÃO NA AGRICULTURA. *AGROTEC*, n. 20, p. 39-41,
- Costanza, Robert.** 2000. Social Goals and the Valuation of Ecosystem Services. *Ecosystems*, v. 3, n. 1, p. 4–10.
- Daily, H. E.; Farley, J. C.** 2004. *Ecological economics: principles and applications*. Washington: Island Press.
- Davis, L. L., & Carter, J. R.** 2023. Taxonomy and Morphology of Phyllostomidae. In *Handbook of Mammals of the World*, v. 9, p. 298-315.
- Dornhaus, A., et al.** 2021. Pollinator dependence of wild and cultivated plants. *Nature Communications*, v. 12, p. 22-57
- Esbérard, C.E.L.** 2003. Marcação e deslocamento em morcegos. *Divulgação do Museu de Ciências e Tecnologia* 2: 23-24.
- Fenton, M. B., Simmons, N. B.** 2022. *Bats: Evolution, Ecology, and Conservation*. Cambridge University Press.
- Ferraz, R. P. D. et al.** 2019 Serviços ecossistêmicos: uma abordagem conceitual. In: Ferraz, Rodrigo Peçanha Demonte *et al.* *Marco Referencial em Serviços Ecossistêmicos*. Brasília: Embrapa Solos. p. 20-36.
- Fischer, B.; Turner, R. K.; Morling, P.** 2009 Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68 (3), p. 643–653. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.014>
- Fischer, E.; Araujo, A. C. de; Gonçalves, F.** 2014. Capítulo 14: Polinização por Vertebrados. In: RECH, André Rodrigo et al. *BIOLOGIA DA POLINIZAÇÃO*. Rio de Janeiro: Editora Projeto Cultural. p. 311-326.

- Fleming, T. H., et al.** 2020. Ecological roles of bats in the Neotropics. In *Bats of the Neotropics*, p. 123-154. doi:10.1007/978-3-030-34163-7_8.
- Fleming, T. H., et al.** 2021. Bat pollination in Neotropical ecosystems. *Ecological Monographs*, 91(2), e01456. doi:10.1002/ecm.1456.
- Fleming, T. H.; Geiselman, C.; Kress, W. J.** 2009 The evolution of bat pollination: a phylogenetic perspective. *Annals Of Botany*, v. 104 (6), p. 1017-1043. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp207>
- Fleming, T. H.; Kalko, E. K.** 2020. Bat pollination and its role in plant diversity in tropical ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 51, p. 463-484. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110218-025254>
- Fleming, T. H.; Muchhala, N.** 2008. Nectar-feeding bird and bat niches in two worlds: pantropical comparisons of vertebrate pollination systems. *Journal Of Biogeography*, v. 35(5), p. 764-780. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01875.x>
- Frick, W. F.; Richter, H. V.; Kunz, T. H.** 2021. Bat pollinators and their roles in maintaining ecosystem health. *Global Ecology and Conservation*, v. 25. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01488>
- Fundação SOS Mata Atlântica.** 2005. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: período 2020-2021. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica. (Acessado em 11 de setembro de 2024) em <https://www.sosma.org.br/>
- Fundação SOS Mata Atlântica.** 2023. Relatório Anual de Monitoramento da Mata Atlântica. Fundação SOS Mata Atlântica.
- Furlan, C. M. et al.** 2012. Botânica no Inverno. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. 202 p.
- Gallai, N., et al.** 2022. The economic value of pollination services: A review and meta-analysis. *Ecological Economics*, v. 195, p. 1074-1089. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107430>
- García, C. A.; Vargas, J. M.** 2022. Floral syndromes and pollinator interactions: A review of recent advances in understanding plant-pollinator relationships. *Botanical Journal of the Linnean Society*, v. 198(2), p. 181-197.
- Garcia, L. C.; Souza, J. C. F.; Martins, S. J.** 2023. A importância da interação entre morcegos e vegetação na conservação da biodiversidade. *Conservação Biológica*, v. 17(2), p. 141-156.
- Gardner, A. L.** 2008. Mammals of South America, Volume 1.

- Garibaldi, L. A., et al.** 2022. Crop pollination services are the most important determinant of the profitability of pollinator-dependent crops. *Nature Communications*, v. 13(1), p. 45-86. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32159-1>
- Gibbs, D.; Allen, S.; Jones, D.** 2020. Global Vertebrate Pollinators: A Review of their Role in Ecosystem Services and Conservation Needs. *Journal of Pollination Ecology*, v. 29(2), p. 135150.
- Gomes, A. S.; Dantas Neto, J.; Silva, V. F.** 2018. Serviços ecossistêmicos: conceitos e classificação. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v. 9(4), p.12-23.
- Hoffmann, A. A.; Sgrò, C. M.** 2021. Climate change and evolutionary adaptation. *Nature Reviews Genetics*, v. 22(2), p. 76-91. <https://doi.org/10.1038/s41576-020-00859-2>
- IUCN.** The restoration of the Atlantic Forest is important for combating the climate crisis and women are protagonists of this agenda. Disponível em: <https://www.iucncongress2020.org>. Acesso em: 11 nov. 2024.
- Jardim, M. A. G.; Melo, M. T.** 2020. Fragmentação da Mata Atlântica e seus impactos sobre a biodiversidade. *Revista Brasileira de Conservação*, v. 15(2), p. 100-115. <https://doi.org/10.5893/2179-6405.2020.0020>
- Kalko, E. K. V., et al.** 2022. The role of bats in tropical ecosystems. In *Tropical Wildlife Ecology*, p. 215-232. Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-824226-3.00012-1.
- Klein, A. M., et al.** 2021. Global pollinator declines: Implications for ecosystem services and food production. *Science Advances*, v. 7(30). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abg0447>
- Klein, A.M., et al.** 2021. The contribution of animal pollinators to plant reproduction. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 52, p. 265-288.
- Klein, A. M. et al.** 2021. Pollination services and their impact on crop production: A review. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 52, p. 357-383.
- Koptur, S.** 2020. Floral traits and their role in attracting pollinators: Insights from recent research. *Journal of Pollination Ecology*, v. 28(1), p. 15-29.
- Koutsou, S.; Kotsiou, S.; Kontos, P.** 2020. Pollen Morphology and Composition: A Comprehensive Review. *Advances in Botanical Research*, v. 93, p. 175-202.
- Ladd, D.** 2020. Plant Reproduction and Pollination. *Journal of Plant Biology*, v. 57(3), p. 45-60.

- Lamim-Guedes, V.** 2014. Vinte anos da Rio92: a conservação da biodiversidade e os serviços de polinização. *Bioikos*, Campinas, v. 27(1), p. 13-23.
- Lima, R. S.; Fenton, M. B.** 2023. Bat diversity in the Neotropics: An overview of the family Pteropodidae and Phyllostomidae. *Journal of Mammalogy*, v. 104(4), p. 975-992. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyad036>
- Lima, S. A. de; Machado, I. C. S.** 2015. ATRIBUTOS FLORAIS DE ANGIOSPERMAS QUIROPTERÓFILAS OCORRENTES NOS NEOTRÓPICOS. In: XIII CONIC - CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13., 2015, Pernambuco. Anais Conic. Pernambuco: UFPE.
- López-Baucells, A., et al.** 2022. Foraging behavior and pollination ecology of Neotropical bats. *Journal of Mammalogy*, v. 103(1), p. 45-60. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyaa134>.
- Luz, A. R.; Bortolini, A. J.** 2017. A importância da polinização para produção de frutos em diferentes espécies frutíferas. *Revista Agronomia Brasileira*, São Paulo, v. 1.
- Mapbiomas.** Coleção 9. Relatório de cobertura e uso da terra no Brasil. 2024. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>.
- Marques, M.** 2021. The Atlantic Forest: history, biodiversity, threats and opportunities of the mega-diverse forest. Ebook: Springer, 2021. 517 p.
- Miller, B. T.; Bogdanowicz, W.; Wright, T. F.** 2020. Chiroptera: Bats of the world. In *Handbook of Mammals of the World*. v. 9, p. 1-46.
- Moraes, R. M.; Lima, G. R.; Silva, J. C.** 2023. Distribuição e diversidade dos morcegos na Mata Atlântica. *Journal of Mammalogy*.
- Mormann, M. R.; Kress, W. J.** 2022. Family Phyllostomidae. In *Chiroptera: Bats of the Neotropics*, p. 130-155.
- Müller, F., et al.** 2021. Functioning of ecosystems: Ecological processes and interactions. Springer.
- Nogueira, M. R. et al.** 2018. Updated checklist of Brazilian bats: version 2018. Comitê da Lista de Morcegos do Brasil—CLMB. Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros (Sbeq). 2018.
- Norgaard, R. B.** 2020. Ecosystem functions and services: A global perspective. Oxford University Press.

- Oliveira, F. M.; Santos, R. L.** 2022. Interações planta-animal em ecossistemas fragmentados: impactos e estratégias de conservação. *Ecologia Aplicada*, v. 14(1), p. 78-90.
- Oliveira-Nogueira, C. H. et al.** 2023. Between fruits, flowers and nectar: The extraordinary diet of the frog *Xenohyla truncata*. *Food Webs*, v. 35, p. e00281.
- Ollerton, J.; Winfree, R.; Tarrant, S.** 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, v. 120(3), p. 321–326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>
- Pavez, R.; González, J. C.** 2022. Chiropterophily: A review of bat-pollinated plants in the Neotropics and Paleotropics. *Journal of Tropical Ecology*, v. 38(4), p. 240-259.
- Potts, S. G.; Petanidou, T.; Roberts, S. et al.** 2006. Plant-pollinator biodiversity and pollination services in a complex Mediterranean landscape. *Biological Conservation*, v. 129(4), p. 519–529. <https://doi.org/doi:10.1016/j.biocon.2006.01.010>
- Raven** | *Biologia vegetal*. 2014. Ray F. Evert e Susan E. Eichhorn. revisão técnica Jane.
- Rech, A. R.; Avila Junior, R. S. de; Schilindwein, C.** 2014. Seção 3 Polinizadores: Síndromes de polinização: especialização e generalização. In: Rech, André Rodrigo et al. *Biologia da Polinização*. Rio de Janeiro: Editora Projeto Cultural, p. 171-181.
- Reis, N. R. dos et al.** 2007. *Morcegos do Brasil*. Londrina: Nelio R. dos Reis. 253 p.
- Ricketts, T. H. et al.** 2022. The economic value of ecosystem services: A synthesis of recent research. *Biological Conservation*, v. 269, p. 109-519.
- Righi, A. A. et al.** 2013. *Apostila Botânica no Inverno*. São Paulo: Universidade de São Paulo. 202 p.
- Robinson, D. J. et al.** 2021. The impact of pollinator diversity on plant genetics and ecosystem health. *Ecological Research Letters*, v. 15, p. 1302-1312.
- Rocha, P. L. B.; Brito, B. F.; Silva, J. S.** 2020. Estrutura e dinâmica de ecossistemas fragmentados na Mata Atlântica. *Ecologia e Conservação de Florestas Tropicais*, v. 23(3), p. 211-230. <https://doi.org/10.5752/2179-6220.2020.03.00211>
- Silveira, F. A. O.; Reis, T. F.; Barbosa, A. E.** 2021. O papel dos polinizadores na recuperação de áreas degradadas. *Revista Brasileira de Ecologia e Conservação*, v. 9(3), p. 210-223. <https://doi.org/10.3895/S1679-23962021000300007>
- Simmons, N. B.** 2021. Order Chiroptera. In *Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference*, p. 413-477

- Simmons, N. B.; Cirranello, A. L.** 2022. The phylogeny, classification, and species of bats. In: Bats and Human Health, p. 1-26. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55155-6_1
- Simmons, N. B.; Cirranello, A. L.** 2022. Bat Species of the World: A Taxonomic and Geographic Database. <https://doi.org/10.25978/5b93ed4d3a9c8>.
- Sutherland, W. J., et al.** 2020. Vertebrate pollinators in tropical ecosystems: Patterns, threats, and conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 35(9), p. 755-767.
- Tomar, A. S. et al.** 2020. Role of cross-pollination in plant genetic diversity and resilience. *Journal of Ecology and Evolution*, v. 48, p. 189-201.
- Valois, A. C. C.; Salomão, A. N.; Aliem, A. C.** 1996. Glossário de recursos genéticos vegetais. Brasília: Embrapa-SPI. 62 p.
- Vieira, F. R.; Andrade, D. C.; Ribeiro, F. L.** 2021. A polinização por abelhas sob a perspectiva da Abordagem de Serviços Ecossistêmicos (ASE). *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v. 12(4), p. 544-560.
<https://doi.org/10.6008/CBPC21796858.2021.004.0007>
- Wolowski, M. et al.** 2019. Relatório Temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção de Alimentos no Brasil. São Paulo: Editora Cubo, 184 p.
- WORLD LAND TRUST.** Atlantic Forest of Brazil. Disponível em: <https://www.worldlandtrust.org>. Acesso em: 11 nov. 2024.

CAPÍTULO 1

Chiropterophily syndrome in phyllostomid bats (Chiroptera, Phyllostomidae): a literature review

Síndrome de quiropterofilia em morcegos filostomídeos (Chiroptera, Phyllostomidae): uma revisão de literatura

Êmili da Silva Piceta^{1*}, Gabrieli Zanette¹, Gisele Leite de Lima Primam², Daniel Galiano¹

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, Brasil;

² Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, Brasil.

* Corresponding author: Êmili da Silva Piceta (emilipiceta2011@gmail.com)

Abstract

This literature review explores the relation between pollination and chiropterophily, emphasizing phyllostomid bats as key pollinators, particularly in tropical and subtropical ecosystems. These bats play a essential role in chiropterophilous pollination syndromes, where plants have evolved specific morphological traits to attract nocturnal bats. This review examines scientific research on chiropterophily, assessing the biological and economic significance of bat pollination while also identifying key research trends, knowledge gaps, and methodological challenges in the field. Additionally, the challenges faced by this symbiotic relation are discussed, including the impacts of climate change and seasonal variations in floral resource availability, which directly affect pollination efficiency. The study highlight the importance of conservation strategies to protect bats and their habitats, ensuring the continuation of the essential ecosystem services that bats provide in maintaining plant diversity.

Keywords: conservation biology, habitat fragmentation, Mammalia, pollination.

Resumo

A revisão de literatura aborda a fundamental relação entre polinização e quiropterofilia, destacando morcegos filostomídeos como cruciais agentes polinizadores, particularmente em ecossistemas tropicais e subtropicais. Estes animais desempenham um papel essencial na síndrome de polinização quiropterofílica, onde plantas evoluíram características morfológicas específicas para atrair eficazmente morcegos noturnos. Esta revisão analisa as pesquisas científicas sobre quiropterofilia, avaliando a importância biológica e econômica da polinização por morcegos, ao mesmo tempo em que identifica as principais tendências de pesquisa, lacunas de conhecimento e desafios metodológicos na área. Além disso, são discutidos desafios enfrentados por essa interação simbiótica, incluindo as mudanças climáticas e a variação sazonal na disponibilidade de recursos florais, impactando diretamente na eficiência da polinização. O estudo destaca a importância de estratégias de conservação para preservar morcegos e seus habitats, assegurando a continuidade dos serviços ecossistêmicos essenciais fornecidos pelos morcegos na manutenção da diversidade botânica.

Palavras-chave: biologia da conservação, fragmentação de habitats, Mammalia, polinização.

Introduction

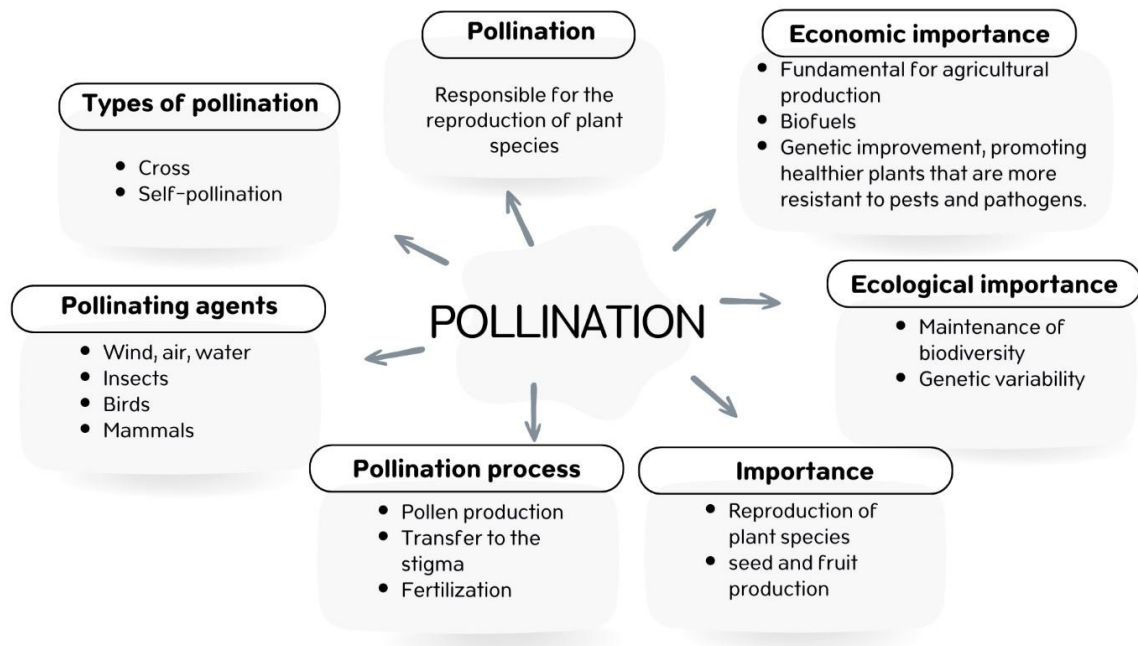
The Atlantic Forest biome is the second-largest forested region in the Americas, covering eastern Brazil, the Misiones region of Argentina, and parts of eastern Paraguay. Given its proximity to the South American dry diagonal, the Atlantic Forest is an isolated forest biome with no direct borders with other forested regions (Ab'Saber, 1977; Galindo-Leal & Câmara, 2005). This biome is important for its extraordinary biodiversity, harboring approximately 20,000 plant species and 1,800 animal species. It is internationally recognized as one of the world's most significant biodiversity hotspots (Myers et al., 2000; Rocha et al., 2020). However, extensive deforestation due to anthropogenic activities has resulted in fragmented and disrupted habitats, significantly impacting the biodiversity. This degradation affects both fauna populations and structural and compositional shifts in plant communities (Jardim & Melo, 2020). Understanding the biodiversity and community structures of the Atlantic Forest and their ecological responses is crucial for conservation efforts, given the rapid and intense environmental changes that this biome faces (Ribeiro et al., 2020).

Ecosystems function through the interactions between biotic, abiotic, and structural elements, which contribute to ecosystem services of ecological and economic value (Gomes et al., 2018; Ferraz et al., 2019). Among the most crucial ecosystem services is pollination, which facilitates the reproduction of plant species and directly supports the diversity and structure of native plant communities. Pollination also plays a vital role in agriculture, with approximately 75% of food crops requiring pollinators for reproduction (Costa et al., 2016; Wolowski et al., 2016). Additionally, pollination helps to sustain ecological guilds that depend on floral resources, such as herbivores and seed-eating animals (Potts et al., 2006).

Economically, pollination is fundamental for agricultural and biofuel production, significantly influencing seed development, increasing and enhancing the physical characteristics of food (Lamim-Guedes, 2014; Costa et al., 2016; Wolowski et al., 2016). Approximately 75% of plants used for food production, both cultivated and wild, rely on floral visitors for reproduction (Wolowski et al., 2016). Cross-pollination carried out by pollinators not only promotes fruiting and improves the quality of fruits and seeds but also increases genetic variability of plants, which is crucial for genetic improvement and resistance to pests and diseases (Tomar et al., 2020; Robinson et al., 2021) (Figure 1).

Figure 1. Types of pollination, pollinating agents, pollination mechanisms, and the ecological and economic importance of pollination.

Source: The autor, 2024.



Pollen dispersion by animals accounts for approximately 90% of sexual reproduction in angiosperms. Among vertebrate pollinators, birds, bats, non-flying mammals, and reptiles are responsible for pollinating 3% to 15% of known angiosperm species (Buzato et al., 2011). In Brazil, around 338 species of vertebrates act as effective or potential pollinators (Fischer et al., 2014). Plants develop specific floral characteristics to attract vertebrate pollinators, such as color, odors, flower shapes, nectar production, and timing of flower opening. These characteristics are described as pollination syndromes, directly aligned with morphological, sensory, and physiological traits of the pollinators (Fischer et al., 2014). Plants adapted for chiropterophily have evolved traits to attract bats as pollinators, including nocturnal anthesis, typically subtle coloration (white, green, or sometimes reddish or brown shades), strong odors resembling fermentation, and abundant nectar production rich in hexose and pollen (Fleming et al., 2009; Evert & Eichhorn, 2014). Furthermore, flowers addapted to chiropterophily tend to be large, robust, and located in positions easily accessible to bats, such as on branches, tree trunks, or suspended from long stems. These flowers are typically tubular, bell-shaped, or brush-like, radially symmetrical, fleshy, and have a large opening (Fleming et al., 2009; Lima & Machado, 2015).

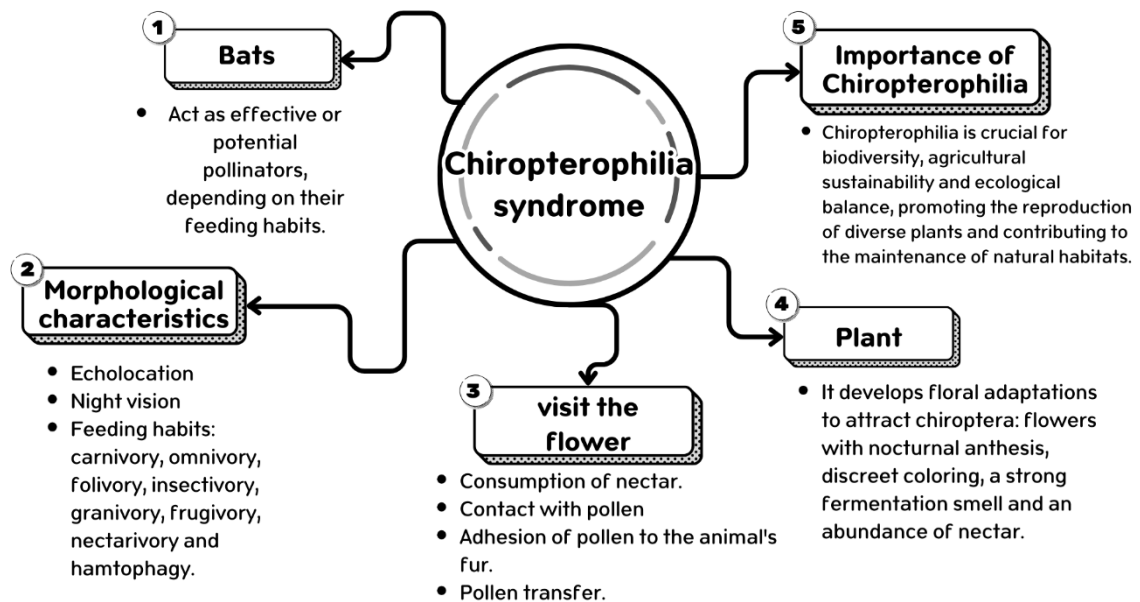
Bats belong to the order Chiroptera, a highly specialized group of mammals with over 1,400 described species (Fleming et al., 2020; Simmons, 2020). These mammals play crucial roles in Neotropical ecosystems, constituting the second-largest order of mammals globally. The Neotropical region is home to around 300 species of bats, which represents half of the mammal community in some areas (Eick et al., 2018). In Brazil, approximately 115 bat species are associated with the Atlantic Forest biome, according to the Brazilian Society of Mammalogy's updated list (SBMz, 2023), which records a total of 184 bat species in the country.

In Brazil, species of the Family Phyllostomidae such as the great fruit-eating bat (*Artibeus lituratus*) are vital pollinators of native plants and play a key role in maintaining biodiversity in tropical ecosystems (Pereira et al., 2021; Tschapka et al., 2022). The Phyllostomidae family currently includes more than 200 species of leaf-nosed bats, predominantly distributed across the tropical and subtropical regions of the Americas (Simmons, 2023; Reis et al., 2022). Bats from the Phyllostomidae family have diverse diets reflecting their morphological and adaptive variability (Reis, 2007). The diverse feeding behaviors are linked to a range of morphological and physiological adaptations, enabling them to exploit different food resources and play varied ecological roles. Studies indicate that while nectarivorous bats are highly efficient pollinators, insectivorous and carnivorous bats also contribute to pollination by consuming pollen rich in proteins and lipids, which complement their diets (Fischer et al., 2014). This diversity in feeding habits highlights the critical role of bats as pollinators in multiple ecosystems.

Fruit- and nectar-eating bats of the Phyllostomidae family are vital for pollination, consuming fruits, nectar, and pollen from various plants. Pollen grains adhere to the fur of these bats as they search for food, facilitating pollen transfer between flowers and promoting plant reproduction and genetic diversity (Fleming et al., 2009). Their large size and specialized fur make bats highly effective at transporting pollen across their extensive nocturnal journeys. Some species can fly up to 50 kilometers in a single night, far exceeding the range of other pollinators like bees, highlighting bats' importance in pollinating numerous plant species (Esbérard, 2003; Reis et al., 2007) (Figure 2).

Figure 2. Chiropterophily syndrome: bats and their morphological characteristics, flower visitation patterns, and plant traits developed to attract bats, emphasizing the ecological and economic significance of chiropterophily.

Source: The autor, 2024.



In this context, this study aims to conduct a systematic review on the syndrome of chiropterophily, with the objective of mapping scientific productions related to the topic using bibliometric indicators such as articles, books, and theses. The research will seek to assess the scientific relevance of these publications and understand the biological and economic role of bat pollination, particularly in maintaining biodiversity and supporting economic activities. Additionally, the study will analyze the main research trends, knowledge gaps, and the challenges faced by researchers, focusing on methodological difficulties and technological limitations in collecting data on the interaction between bats and plants. Such information is crucial for directing financial resources efficiently. By understanding trends and gaps in research topics, resources can be optimized to promote relevant innovations and significant advances in strategic fields.

Bibliometric data on chiropterophily

A scientometric review was conducted involving a quantitative analysis of scientific productions through indicators such as articles, books, and theses. This method aims to assess the relevance of research and explore trends across various fields of knowledge. It helps to identify areas of interest, assess gaps or stagnation in specific fields, and determine the

geographic concentration of topics. However, there was no specific geographic scope; studies produced worldwide were included, expanding the scope and relevance of the analysis to provide a more global perspective on research development.

The bibliometric survey was conducted using the Scopus, Web of Science, and PubMed databases. The terms "Phyllostomidae," "Bat Pollination," "Pollination," "Bats and Pollen," and "Chiropterophily and Atlantic Forest" were employed, combined with the Boolean operators "AND" and "OR," using quotation marks (") for compound keywords. The search was limited to scientific publications published over the past 20 years, specifically from 2004 to 2024.

Document analysis was carried out using the bibliometrix package within the RStudio environment (Aria & Cuccurullo, 2017). Despite the year 2024 is still ongoing at the time of data collection, research from this year was included due to their current relevance. Exploratory research contextualized and identified the main trends in chiropterophily research, covering key themes, data, and developments in the field. This was followed by scientometric analysis, focusing on temporal trends in publication and authorship, as well as country collaborations on the topic. The review presented in the subsequent sections of this article is based on the publications highlighted by bibliometric analysis over the past 20 years.

During the period analyzed (2004-2024), 274 published documents were identified, 174 of which were scientific articles. The "author's keywords" represent the primary themes investigated by researchers, totaling 170 terms (Table 1). Brazil emerged as the primary contributor to scientific production on chiropterophily, highlighting its prominent role in global research on this topic.

Table 1. Main information resulting from the bibliometric analysis using the terms "Phyllostomidae," "Bat Pollination," "Pollination," "Bats and Pollen," and "Chiropterophily and Atlantic Forest" over the past 20 years from the Scopus, Web of Science, and PubMed databases. Source: The autor, 2024.

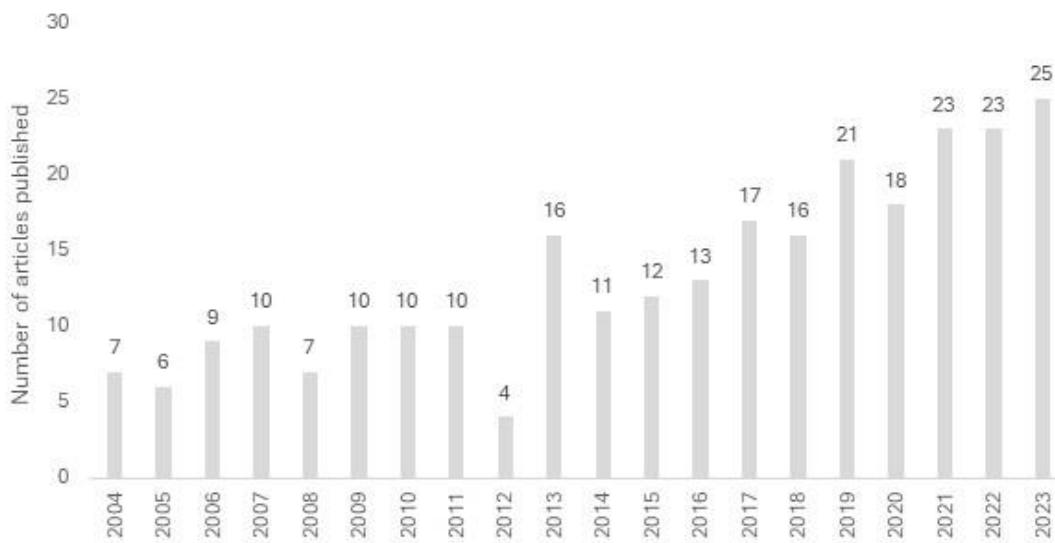
Description	
Documents	274
Time Interval	2004 : 2024
Articles	174
Authors	896
Author's keywords	1011
Author's main keywords	
Animals	46
Pollination	37

Chiroptera	36
Chiropterophyli	30
Bat pollination	21
Top countries of publucations	
Brazil	43
Mexico	28
United States	26
Germany	16
India	11

Brazil leads scientific contributions on chiropterophily, largely due to its immense bat diversity and rich ecosystems that provide ideal research conditions. With approximately 184 recorded chiropteran species, the country represents a significant portion of global bat diversity (SBMz, 2023). The diversity of Brazilian biomes, such as the Amazon and Atlantic Forest, is home to numerous endemic and unknown species, encouraging intense scientific study in this area (Faria et al., 2022). Furthermore, renowned research institutions in Brazil, such as the National Museum and the Biosciences Institute at the University of São Paulo, have played a crucial role in advancing knowledge on the biology, ecology, and conservation of bats (Reis et al., 2022). These conditions and collaborative efforts consolidate Brazil's position as a leader in chiropterophily research.

In terms of published articles over the last 20 years, there is notable variation, with a significant increase observed in 2021, 2022, and 2023, and a lowest production recorded in 2012 and 2024 (to date) (Figure 3). In 2013 scientific output on chiropterophily increased significantly compared to the previous year. Although scientific production on chiropterophily has grown in recent years, the variations observed over time may reflect changes in research priorities, funding availability, and a lack of specialized researchers in the field, among other factors.

Figure 3. Annual evolution of the number of publications from 2004 to 2024. Source: The autor, 2024.

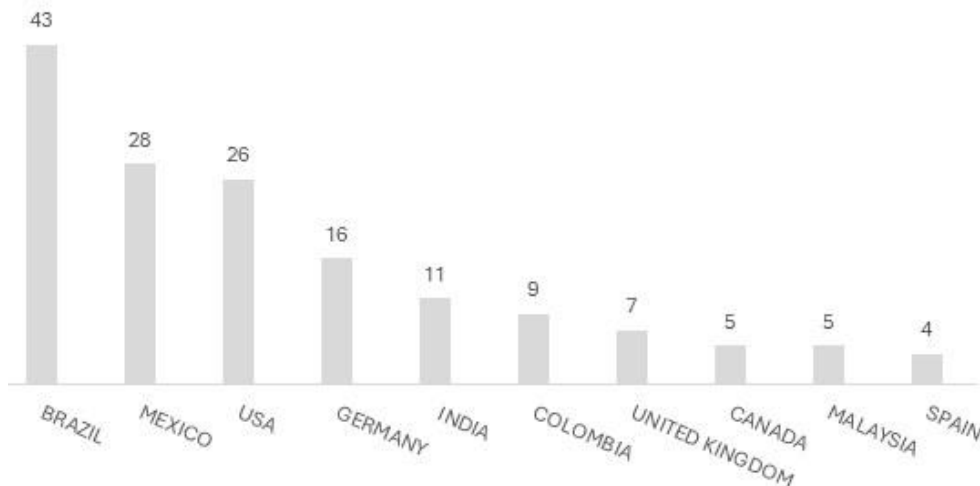


In terms of research contributions by country and international collaborations on chiropterophily, Brazil stands out significantly compared to other countries (Figures 4 and 5). Brazil leads chiropterophily research with 43 collaborations, reflecting its diverse ecosystems and ecological niches. The favorable environment for conducting various studies on chiropterophily includes the country's diverse regions, such as the Atlantic Forest, Cerrado, and Caatinga, which provide a rich landscape for studying how these bats adapt and behave in different habitats (Faria et al., 2022). Additionally, increasing urbanization and environmental changes in urban and peri-urban areas put new challenges and research questions (Oliveira et al., 2024). This wide range of environments and conditions in Brazil is critical for understanding bat biology and ecology, driving important discoveries in the field of chiropterophily. Besides Brazil, Mexico presents 28 collaborations and also plays a key role in chiropterophily research. Approximately 150 bat species occur in the country, reflecting the variety of ecosystems ranging from tropical forests to deserts and mountains (Gomez-Bueno et al., 2024).

Figure 4. Countries contributions to scientific production on chiropterophily. Darker shades indicate more significant contributions, highlighting countries with higher production and relevance. Lighter shades reflect fewer contributions, signaling countries with less research focus in this topic. Source: The autor, 2024.



Figure 5. Number of scientific contributions on chiropterophily by country. The values correspond to data from the selected bibliometric databases. Source: The autor, 2024.



The United States has 26 research collaborations on chiropterophily (Kunz & Parsons, 2020). Institutions such as the University of Florida and the University of Michigan, along with organizations like Bat Conservation International, play critical roles in advancing knowledge about bat pollination and other aspects of bat ecology (Simmons & Cirranello, 2021). Germany, with 16 collaborations, also stands out for its significant investments in biological research

(Kretschmer et al., 2021). German research often focuses on advanced aspects of bat behavior, ecology, and conservation (Schoeman et al., 2020).

The concentration of collaborations in certain countries reflects not only the diversity of chiropteran species but also the availability of research resources and the development of conservation policies. International collaboration is essential for understanding global aspects of bat ecology and conservation, especially considering their role in ecosystems and potential impacts on human health. However, continued investment in research and conservation is necessary to address emerging challenges, such as ecosystem conservation and climate change. A collaborative and integrated approach is crucial for addressing issues related to bat conservation and ecology.

The ten most cited publications among the reviewed studies provide a comprehensive analysis of the interaction between bats and plants, highlighting the importance of these pollinators in maintaining biodiversity and ecosystem functionality (Table 2). Kunz (2011) and Willmer (2011) explore the impact of bats on ecosystem services, such as pollination and insect control, with implications for biodiversity and the economy. Fleming (2009, 2008) examines the role of fruit bats in plant reproduction and the influence of bat pollination on ecosystem structure. Muscarella (2007) reviews bat pollination and seed dispersal mechanisms, while Abrol (2011) analyzes the relationship between pollination and agricultural productivity, emphasizing the importance of pollinators for biodiversity conservation. Dick (2007) investigates the genetic diversity of plants pollinated by bats, and Quesada (2004) and Tschapka (2004) focus on bat-plant interactions in tropical and neotropical ecosystems. Finally, Rojas (2011) discusses conservation implications, emphasizing the need to protect bat-plant interactions to ensure species persistence and diversity.

Table 2: Authors, year of publication, title of publication and number of citations of the 10 most cited publications during the period analyzed.

Authors/ Year	Publication title	Number of citations
Kunz et al. (2011)	Ecosystem services provided by bats	934
Willmer (2009)	Pollination and floral ecology	486
Fleming et al. (2009)	The Evolution of bat pollination: A phylogenetic perspective	308
Muscarella et al. (2008)	The role of frugivorous bats in tropical forest succession	291

Fleming et al. (2008)	Nectar-feeding bird and bat niches in two worlds: Pantropical comparisons of vertebrate pollination systems	159
Abrol (2011)	Pollination biology	134
Dick et al. (2007)	Extreme long-distance dispersal of the lowland tropical rainforest tree <i>Ceiba pentandra</i> L. (Malvaceae) in Africa and the Neotropics	109
Quesada et al. (2004)	Effects of forest fragmentation on pollinator activity and consequences for plant reproductive success and mating patterns in bat-pollinated Bombacaceous trees	101
Tschapka (2004)	Energy density patterns of nectar resources permit coexistence within a guild of neotropical flower- visiting bats	95
Rojas et al. (2011)	When did plants become important to leaf-nosed bats? Diversification of feeding habits in the Family Phyllostomidae	91

Collectively, these studies highlight the critical interdependence between bats and plants and underscore the urgent need for conservation strategies to preserve the ecological integrity and sustainability of ecosystems. Bats play fundamental roles in ecosystem dynamics, acting as pollinators and seed dispersers. These functions are crucial for plant regeneration and environmental maintenance, directly influencing ecosystem structure and functionality. The loss of bats could compromise the reproduction and adaptability of chiropterophilous plants to environmental changes, ultimately affecting habitat integrity.

The preservation of plant diversity is closely tied to bat conservation, as bats contribute to the genetic diversity of plants and ecosystem health. Therefore, protecting bat species is vital for maintaining ecological interactions and ensuring the stability of natural environments. These findings underscore the importance of implementing effective conservation measures to sustain ecosystem functionality and diversity.

The ecological and economic importance of chiropterophily

Chiropterophily syndrome is an ecological phenomenon that plays a vital role in diverse ecosystems. Considering the wide variety of plant species that depend on chiropterans for pollination, chiropterophily syndrome directly impacts the diversity and conservation of flora. Fleming and Valiente-Banuet (2002) and Ghanem and Voigt (2012) emphasize that "pollination by bats is essential for the survival of many plant species that sustain diversity in tropical ecosystems," since the ecosystem services provided by bats, are crucial for maintaining biodiversity. Additionally, Kunz and Fenton (2003) highlight that the loss of bat diversity directly affects the decline in plant diversity, making the conservation of pollinating bat species crucial for ensuring ecosystem resilience in the face of climate change.

In terms of ecosystem services, pollination is considered a regulatory service, providing benefits through the regulation of ecosystems and supporting life on Earth (Ferraz et al., 2019). Pollination by bats contributes significantly to maintaining ecosystem services, such as fruit and seed production, which serve as food for both other animal species and humans, therefore representing a substantial service for ecosystems and the sustainability of agricultural communities.

Fleming and Muchhala (2008) highlighted the importance of chiropterophily in sustaining ecosystem services across many habitats. Ghanem and Voigt (2012) emphasize that bat pollination is crucial for environmental stability in the face of climate change. By pollinating a variety of plants, bats promote greater diversity and resilience in plant communities, allowing plants to better adapt to changing environmental conditions. In other words, the presence of bats as pollinators enhances plant health and adaptability, strengthening ecosystems' ability to remain balanced and adjust to natural disturbances and climate change. Carter and Ratcliffe (2009) observed that plants exhibiting chiropterophily syndrome play a crucial role in soil stabilization and water conservation, as their interactions with bats help maintain the integrity of natural habitats. These plants not only benefit from bat pollination but also contribute to the protection of water resources and the prevention of soil erosion.

Chiropterophily also plays a fundamental role in maintaining plant biodiversity, particularly in tropical and subtropical ecosystems, where night-blooming plants are predominantly pollinated by bats. These specialized pollinators are essential for the reproduction of numerous native plant species at complex ecosystems and support diverse food webs. The interaction between bats and plants not only ensures the perpetuation of these plant species but also promotes the integrity and resilience of natural habitats by providing food and shelter for a wide range of organisms (Kunz et al., 2019; Voigt et al., 2020). The extinction or

reduction of bat populations can lead to a significant decline in plant diversity, negatively affecting habitat structure and resource availability for other animal species (Simmons and Cirranello, 2021).

In addition to their crucial role in pollination, bats are essential for seed dispersal, facilitating the regeneration of forests and other natural habitats. This process is vital for maintaining the structure and biodiversity of ecosystems, as it allows native plants to establish in new areas and recover in disturbed environments. Studies demonstrate that seed-dispersing bats contribute significantly to the recovery of degraded areas and the expansion of vegetation cover, helping restore ecosystems and promote biodiversity (Calderón et al., 2020; Struebig et al., 2021). The mutual dependence between bats and native plants underscores the importance of conserving these pollinators for preserving biodiversity and the health of ecosystems. Recent studies indicate that the loss of bats could compromise the ability of native plants to regenerate and adapt to environmental changes, resulting in negative impacts throughout the food chain and on the ecological dynamics of affected environments (Baker et al., 2019; Russo and Ancillotto, 2020).

Economically, considering the significant economic value of some plant species that exhibit chiropterophily syndrome, bat pollination directly influences the quality and quantity of agricultural production, promoting the economic viability of these crops. Kunz et al. (2011) highlight the importance of bat pollination in agave crops, which are used for tequila production. Garibaldi et al. (2013) emphasize that bats' contribution to the pollination of various plant species enhances fruit and seed productivity, regardless of bee abundance, demonstrating their value in maintaining and increasing agricultural yields. Thus, chiropterophily emerges as a critical component in the complex ecological web, linking the vitality of natural ecosystems with economic sustainability. The role of bats in pollination and seed dispersal supports not only the diversity and health of natural environments but also ensures the production and quality of various agricultural crops.

Challenges in the research of chiropterophily

Although chiropterophily syndrome provides numerous ecological and economic benefits, its study presents significant challenges due to a variety of ecological, behavioral, and methodological factors. The first challenge in studying bats is their nocturnal behavior and high mobility, which makes it difficult to observe and study their interactions with plants. Numerous studies highlight bat behavior and their ability to travel long distances as limiting factors in

researchers' ability to monitor their pollination interactions. Furthermore, the lack of night visibility and the need for specialized equipment to observe bats are significant barriers to studying chiropterophily (Fleming et al., 2009; Kunz et al., 2011; Frick et al., 2020).

Another factor complicating the study of chiropterophily is the diversity of species and ecosystems. The abundance of bat species and variations in ecosystems where pollination interactions occur make it difficult to generalize results. Therefore, study approaches must be adapted to each species and specific ecosystem, as noted by Ghanem and Voigt (2012), Carter and Ratcliffe (2009), and Fleming and Muchhala (2008). Ecological interactions vary significantly between different habitats, complicating data extrapolation from one region to another. Additionally, the variability in bat-pollinated flowers and differences in pollination techniques across species add complexity to chiropterophily studies.

Data collection methods also present obstacles. Techniques used in chiropterophily studies can be invasive and complex, requiring innovative methods. Mist-net capture and handling of bats cause stress to the animals and result in direct consequences for their natural behavior, affecting data accuracy. Traditional direct observation methods are often ineffective given the nocturnal activity of bats, as evidenced by Fleming et al. (2009) and Frick et al. (2020). Studies such as Garibaldi et al. (2013) suggest using infrared cameras and radiotelemetry to collect data on chiropterophily, though these methods are extensive and technically complex.

Pollen identification faces considerable challenges due to the intrinsic variability and limitations of current techniques. The morphological diversity of pollen grains, which varies significantly between and within species, can make distinguishing between similar types extremely difficult (Levin et al., 2019). Additionally, grain degradation over time, often exacerbated by adverse environmental conditions, affects sample quality and analysis accuracy (Li et al., 2021). Advanced techniques such as scanning electron microscopy and high-resolution image analysis offer potential solutions but require a high level of expertise and technological investment (Smith and Brown, 2022).

The lack of comprehensive databases and the need for detailed knowledge of plant pollen morphology increase the complexity of the process. These challenges are amplified by variability within species and the difficulty of standardizing sample collection and preparation methods (Tardif et al., 2020). Current techniques also face limitations in identifying pollen in advanced stages of decomposition or when mixed with other types of pollen. This requires continuous evolution in taxonomic approaches and improved analytical methods to ensure accurate and efficient identification (Rosenberg et al., 2022; Bozarth et al., 2023). Advances in genetics and molecular biology, such as applying DNA sequencing methods for pollen

identification are emerging as promising tools to overcome these limitations (Fernández et al., 2021).

Finally, the impact of climate change and habitat loss further complicates chiropterophily studies, as these factors directly affect bat populations and the plants that depend on them for reproduction. Climate change alters the phenology of plant species, shifting flowering patterns and food resource availability for pollinating bats, complicating the analysis of their ecological interactions (Kunz et al., 2011). Moreover, Ghanem and Voigt (2012) and Fleming and Valiente-Banuet (2002) state that habitat loss due to urbanization and the expansion of intensive agriculture reduces and isolates bat populations, limiting their range and pollination effectiveness. This negatively impacts the availability of plants exhibiting chiropterophily syndrome.

Trends in chiropterophilia research

Current research on chiropterophily examines the dynamics of interactions between bats and plants, the impacts of environmental changes, and conservation strategies for pollinator species. Recent studies, such as De Carmago et al. (2020) and Carvalho et al. (2017), highlight how technological advancements have enhanced our understanding of bat behavior and migration patterns. These studies also reveal how climate-induced shifts in plant phenology have affected bat-plant interactions, establishing this field as both emerging and crucial. Researchers emphasize the importance of addressing the negative effects of habitat fragmentation and urbanization on chiropterophily (López-Goffman et al., 2017; McConkey & Drake, 2019; Silva et al., 2019; Porcaro et al., 2021). Chiropterophily is increasingly recognized as an indicator of ecosystem health due to bats' sensitivity to land use changes and habitat fragmentation. Thus, the conservation of bat populations is vital for maintaining ecosystem integrity (Dalsgaard et al., 2020; Kelm et al., 2019).

In summary, ongoing research in chiropterophily is essential for the preservation and sustainability of ecosystems reliant on bat-plant interactions. Advances in technology and multidisciplinary approaches are enabling more precise analyses of these ecological dynamics. The urgency to understand and mitigate the impacts of climate change further underscores the need for such research. Strategies such as habitat conservation, creation of ecological corridors, and the adoption of sustainable agricultural practices are critical. Investing in continued chiropterophily research not only expands scientific knowledge but also promotes biodiversity, ecological resilience, and the economic well-being of bat and plant communities.

Acknowledgments

We are grateful to all our colleagues who got involved during the development of this research. We are grateful to Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) for providing logistical support. This study was financed by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior–Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

References

- Ab'Saber, A. N. 1977. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul. *Geonoma*, v. 1 p. 1-19. <https://doi.org/10.1234/geonoma.1977.012345>.
- Abrol, D. P.** 2011. *Pollination Biology: Biodiversity, Conservation, and Agricultural Production*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1942-2>.
- Aria, M.; Cuccurullo, C.** 2017. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, v. 11, n. 4, p. 959–975. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1414>
- Baker, M. C., et al.** 2019. Impact of bat extirpation on seed dispersal and forest regeneration in tropical ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, v. 28, n. 9, p. 1290-1301. <https://doi.org/10.1111/geb.12949>.
- Bozarth, L.; Harper, E.; Smith, C.** 2023. Challenges in pollen grain identification and the role of digital microscopy. *International Journal of Palynology*, v. 61, n. 2, p. 90-105. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2022.09.005>
- Buzato, S.; Gianini, T.C.; Machado, I.C.; Sazima, M.; Sazima, I.** 2011. Polinizadores vertebrados: Uma visão geral para as espécies brasileiras. Em: Imperatriz-Fonseca, V.L.; Canhos, D.A.L.; Saraiva, A. M. (Eds.), *Polinizadores no Brasil: contribuição e perspectivas iniciativas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais*. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Calderón, J. L., et al.** 2020. Seed dispersal by bats in tropical forests: Ecological implications and conservation. *Journal of Tropical Ecology*, v. 36, n. 2, p. 93-104. <https://doi.org/10.1017/S0266467419000231>.
- Carter, G. G.; Ratcliffe, J. M.** 2009. Challenge Communication in bats. *Current Biology*, v. 19, n. 21, p. R947-R950.
- Corbet, S. A.; Williams, I. H.; Osborne, J. L.** 1991. Bees and the Pollination of Crops and Wild Flowers in the European Community. *Bee World*, v. 72, n. 2, p. 47–59. https://doi.org/10.1007/978-94-009-3643-3_7

- Costa, M.; Jarmela, P.; Sançana, A. P.; Halak, A.; Rocha, H.; Mateus, T. L.** 2016. A importância da polinização na agricultura. *AGROTEC*, n. 20, p. 39-41.
- Dick, C. W.** 2007. Genetic Diversity and Evolution of Bat-Pollinated Plants. *Molecular Ecology*, v. 16, p. 23-35. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03341.x>.
- Eick, G. N., et al.** 2018. The bat fauna of the Neotropics: biodiversity and conservation. *Biological Conservation*, v. 225, p. 148-157. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.06.019>.
- Esbérard, C. E. L.** 2003. Marcação e deslocamento em morcegos. *Divulgação do Museu de Ciências e Tecnologia*, v. 2, p. 23-24.
- Evert, R. F.; Eichhorn, S. E.** 2014. *Raven | Biologia vegetal*.
- Faria, D.; Nogueira, M. R.; Peracchi, A. L.** 2022. Diversidade e Distribuição dos Morcegos no Brasil. In: *Mammals of South America*, pp. 231-250. University of Chicago Press.
- Fernández, M.; Morales, J.; Gómez, C.** 2021. DNA barcoding for pollen identification: Advances and challenges. *Molecular Ecology Resources*, v. 21, n. 6, p. 1854-1865. <https://doi.org/10.1002/ece3.7025>
- Ferraz, R. P. D.; Prado, R. B.; Parron, L. M.; Campanha, M. M.** 2019. Serviços ecossistêmicos: uma abordagem conceitual. Em: Ferraz, R. P. D. et al. (Eds.), *Marco Referencial em Serviços Ecossistêmicos*. Brasília: Embrapa Solos, p. 36.
- Fischer, E.; Araujo, A. C. de; Gonçalves, F.** 2014. Capítulo 14: Polinização por Vertebrados. Em: Rech, A. R. et al. (Eds.), *Biologia da Polinização*. Rio de Janeiro: Editora Projeto Cultural, p. 311-326.
- Fleming, T. H.** 2008. The Impact of Bat Pollination on Ecosystem Function. *Journal of Biogeography*, v. 35, p. 377-388. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01833.x>.
- Fleming, T. H.** 2009. The Role of Fruit-Eating Bats in Plant Reproduction. *Annals of Botany*, v. 103, p. 203-212. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp197>.
- Fleming, T. H., et al.** 2020. Bat diversity and abundance in tropical and subtropical regions: A review and analysis. *Journal of Mammalogy*, v. 101, n. 4, p. 840-856. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyaa039>.
- Fleming, T. H.; Geiselman, C.; Kress, W. J.** 2009. The evolution of bat pollination: a phylogenetic perspective. *Annals of Botany*, v. 104, n. 6, p. 1017-1043. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp197>.
- Fleming, T. H.; Kress, W. J.** 2019. The Role of Bats in Ecosystem Function: New Perspectives on Pollination and Seed Dispersal. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 50, p. 213-236. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110218-025102>.

- Fleming, T. H.; Muchhala, N.** 2008. Nectar-feeding bird and bat niches in two worlds: pantropical comparisons of vertebrate pollination systems. *Journal of Biogeography*, v. 35, n. 5, p. 764-780.
- Fleming, T. H.; Valiente-Banuet, A.** 2002. *Columnar Cacti and Their Mutualists: Evolution, Ecology, and Conservation*. University of Arizona Press. <https://doi.org/10.2307/2999012>
- Frick, W. F.; Kingston, T.; Flanders, J.** 2020. A review of the major threats and challenges to global bat conservation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1469, n. 1, p. 5-25. <https://doi.org/10.1111/nyas.14045>.
- Galindo-Leal, C.; Câmara, I. G. 2005. A biodiversidade no Brasil: um enfoque geral. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 16, p. 13-25. <https://doi.org/10.5327/10.5327/Z2176947820050001>.
- Gardner, A. L.** 2008. *Mammals of South America*, Volume 1.
- Garibaldi, L. A.; Steffan-Dewenter, I.; Winfree, R.; et al.** 2013. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*, v. 339, n. 6127, p. 1608-1611. <https://doi.org/10.1126/science.1230200>.
- Ghanem, S. J.; Voigt, C. C.** 2012. Increasing awareness of ecosystem services provided by bats. *Advances in the Study of Behavior*, v. 44, p. 279-302. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12398265-7.00009-7>.
- Gomes, A. S.; Dantas Neto, J.; Silva, V. F.** 2018. Serviços ecossistêmicos: conceitos e classificação. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v. 9, n. 4, p. 12-23. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.004.0002>.
- Gómez-Bueno, J.; Sánchez, H.; Salazar, J. M.** 2024. Diversity of Bats in Mexico: Current Status and Future Directions. *Mexican Journal of Mammalogy*, v. 35, n. 1, p. 45-59.
- Howell, D. J.** 1979. Fungal Parasitism and the Evolution of Dung Beetle Mutualism with Mites. *American Naturalist*, v. 113, n. 4, p. 514-515. <https://doi.org/10.1086/283415>.
- Jardim, J. G.; Melo, A. C. 2020. Impacts of land use change on biodiversity in the Atlantic Forest. *Ecological Indicators*, v. 112, 106113. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106113>.
- Kretschmer, M., et al.** 2021. The role of Germany in bat research: Contributions to behavioral, ecological, and conservation studies. *Journal of Mammalogy*, v. 102, n. 3, p. 678-688. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyaa186>.
- Kunz, T. H.** 2011. Ecological and Economic Importance of Bats: The Role of Bats in Ecosystem Services. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 934, p. 66-71. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06004.x>.

- Kunz, T. H.; de Torrez, E. B.; Bauer, D.; Lobova, T.; Fleming, T. H.** 2011. Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1223, n. 1, p. 1-38. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06004.x>.
- Kunz, T. H.; Fenton, M. B. (Eds.)** 2003. *Bat Ecology*. University of Chicago Press. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226459555.001.0001>.
- Kunz, T. H.; Fenton, M. B.** 2017. *Ecology of Bats and Their Impact on Ecosystems*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316213783>.
- Kunz, T. H.; Fenton, M. B.** 2019. *Bat Ecology and Conservation*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108330976>.
- Kunz, T. H.; Parsons, S.** 2020. *Ecology and Conservation of Bats*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108330976>.
- Lamim-Guedes, V.** 2014. Vinte anos da Rio92: a conservação da biodiversidade e os serviços de polinização. *Bioikos*, Campinas, v. 27, n. 1, p. 13-23.
- Levin, S.; Harrington, T. B.; Smith, S. A.** 2019. Pollen identification and taxonomy: A review. *Pollen and Spores*, v. 61, n. 3, p. 253-273.
- Li, H.; Zhang, Y.; Wu, Y.** 2021. Techniques and challenges in pollen taxonomy and identification. *Journal of Palynology*, v. 57, n. 1, p. 1-15.
- Lima, S. A. de; Machado, I. C. S.** 2015. Atributos florais de angiospermas quiropterófilas ocorrentes nos neotrópicos. In: XXIII CONIC, VIII CONITI, IV ENIC, 12. Pernambuco: p. 1-2.
- Meyer, C., et al.** 2022. The effects of bat declines on forest structure and dynamics. *Journal of Applied Ecology*, v. 59, n. 5, p. 1357-1367. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14171>.
- Muscarella, R.** 2007. Bat Pollination and Seed Dispersal: An Overview. *Biological Reviews*, v. 82, p. 53-63. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2007.00026.x>.
- Myers, N.; Mittermeier, R. A.; Mittermeier, C. G.; Da Fonseca, G. A. B.; Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, p. 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>.
- Nogueira, M. R., et al.** 2019. Bats of the Atlantic Forest: Diversity, conservation, and biogeography. *Mammalian Biology*, v. 94, p. 17-29. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2019.01.002>.
- Oliveira, F. S.; Gonçalves, P. R.; Martins, A. B.; Silva, J. R. 2024. Effects of land use change on ecosystem services in tropical forests. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 65, p. 210-225. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820240065>.

- Paglia, A. P., Fonseca, G. A. B. da, Rylands, A. B., Herrmann, G., Aguiar, L. M. S., Chiarello, A. G. & Patton, J. L. (2012). Lista anotada dos mamíferos do Brasil. *Occasional Papers in Conservation Biology*, (6), 76. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3318.4487>
- Pereira, R. A.; Gremão, G. M.; Oliveira, J. A.** 2021. Diversity and Ecological Role of Phyllostomid Bats in Brazilian Ecosystems. *Journal of Tropical Ecology*, v. 37, p. 15-27. <https://doi.org/10.1017/S0266467421000012>.
- Potts, S. G.; Petanidou, T.; Roberts, S.; et al.** 2006. Plant-pollinator biodiversity and pollination services in a complex Mediterranean landscape. *Biological Conservation*, v. 129, n. 4, p. 519–529. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.11.021>.
- Quesada, M.** 2004. Interactions Between Bats and Plants in Tropical Ecosystems. *Biotropica*, v. 36, p. 357-368. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2004.tb00305.x>.
- Razera, J. C. C.** 2016. Contribuições da cienciometria para a área brasileira de Educação em Ciências. *Ciência & Educação (Bauru)*, v. 22, n. 3, p. 557-560. <http://dx.doi.org/10.1590/1516731320160030001>.
- Reis, N. R. dos et al.** 2007. *Morcegos do Brasil*. Londrina: [Editora]. 253 p.
- Reis, N. R.; Peracchi, A. L.; Pedro, W. A.; Lima, I. P.** 2022. Chiroptera: Bats. In: *Mammals of South America, Volume 2: Small Mammals*, pp. 431-471. University of Chicago Press.
- Reis, V. R. C.; Cardoso, A. L. L. N.; Silva, L. S.; Furtado, R. C. P. P. 2019. *Artibeus cinereus* (Phyllostomidae): first record in the state of Paraná, southern Brazil. *Check List*, v. 15, n. 1, p. 125-128. <https://doi.org/10.15560/15.1.125>.
- Ribeiro, M. C.; Metzger, J. P.; Martensen, A. C.; Ponzoni, I.; Hasan, M. T.** 2020. The Brazilian Atlantic Forest: A global biodiversity hotspot. *Science*, v. 368, n. 6490, p. 179-184. <https://doi.org/10.1126/science.aav5054>.
- Rocha, R. M.; Freitas, T. R. O.; Martins, M. A.; Almeida, R. A. 2020. Climate change and its effects on biodiversity in Brazilian biomes. *Global Ecology and Conservation*, v. 23, e01064. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01064>.
- Rojas, D.** 2011. Conservation Implications of Bat-Pollinated Plants. *Molecular Ecology*, v. 20, p. 3124-3133. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2011.05173.x>.
- Rosenberg, N.; Simpson, T.; Lister, C.** 2022. Emerging technologies in pollen analysis: Highresolution imaging and molecular methods. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, v. 10, n. 1, p. 1-12.
- Russo, D.; Ancillotto, L.** 2020. Ecological and evolutionary significance of bat–plant interactions. *Biological Reviews*, v. 95, n. 4, p. 1341-1359. <https://doi.org/10.1111/brv.12576>.
- Schoeman, C. M., et al.** 2020. Advancements in bat ecology and conservation in Germany:

- Recent developments and future directions. *European Journal of Wildlife Research*, v. 66, n. 1, p. 15. <https://doi.org/10.1007/s10344-019-1367-5>.
- Simmons, N. B.** 2020. Chiroptera. In: Wilson, D. E.; Mittermeier, R. A. (Eds.), *Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference*, 3rd ed., Vol. 1, pp. 229-246. Johns Hopkins University Press.
- Simmons, N. B.** 2023. The Evolutionary and Taxonomic Diversity of Phyllostomidae. In: *Mammal Diversity and Evolution*, pp. 123-156. Springer.
- Simmons, N. B.; Cirranello, A. L.** 2021. *Bat Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference*. Field Museum of Natural History. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.10012>.
- Smith, J.; Brown, L.** 2022. Modern approaches to pollen taxonomy and their ecological implications. *Palynology*, v. 46, n. 2, p. 150-168.
- Sociedade Brasileira de Mastozoologia (SBMz).** 2023. Lista de Quirópteros do Brasil. Disponível em: <https://sbmz.org/mamiferos-do-brasil/>
- Stefanuto, V. A. et al.** 2022. Análise bibliométrica como ferramenta metodológica. In: Silva, C. N. N. da; Rosa, D. dos S.; Ferreira, M. R. G. (Eds.), *A Metodologia da Pesquisa em Educação Profissional e Tecnológica*. Brasília, DF: Nova Paideia, p. 307-326.
- Struebig, M. J., et al.** 2021. Conservation of bat diversity in tropical forests: Challenges and solutions. *Frontiers in Ecology and Evolution*, v. 9, p. 682643. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.682643>.
- Tardif, M.; Lavoie, C.; Germain, D.** 2020. Advances in pollen analysis: From taxonomy to ecology. *Botanical Journal of the Linnean Society*, v. 192, n. 4, p. 460-474.
- Tschapka, M.** 2004. Ecology of Bat-Pollinated Plants in Neotropical Forests. *Journal of Zoology*, v. 263, p. 123-133. <https://doi.org/10.1017/S0952836903004734>.
- Tschapka, M.; Kalko, E. K. V.; Voigt, C. C.** 2022. Bat-Plant Interactions in Neotropical Forests: Insights into Pollination and Seed Dispersal Dynamics. *Biotropica*, v. 54, n. 5, p. 657670. <https://doi.org/10.1111/btp.13037>.
- Valois, A. C. C.; Salomão, A. N.; Aleim, A. C.** 1996. *Glossário de recursos genéticos vegetais*. Brasília: Embrapa-SPI. 62 p.
- Voigt, C. C., et al.** 2020. Pollination by bats contributes significantly to maintaining ecosystem services, such as fruit and seed production. *Global Change Biology*, v. 26, p. 5545-5558. <https://doi.org/10.1111/gcb.15225>
- Voigt, C. C., et al.** 2020. Bats as pollinators of tropical plants: a worldwide perspective. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 51, p. 1-24.

- Willmer, P.** 2011. Pollination and Floral Ecology. In: *Pollination Biology: Biodiversity, Conservation, and Agricultural Production*. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1942-2>.
- Wolowski, M.; Nunes, C. E. P.; Amorim, F. W.; Vizentin-Bugoni, J.; Aximoff, I.; Maruyama, P. K.; Brito, V. L. G.; Freitas, L.** 2016. Interações planta-polinizador em vegetação de altitude na Mata Atlântica. *Oecologia Australis*, v. 20, n. 2, p. 145-161. <https://doi.org/10.4257/oeco.2016.2002.02>.