Capítulo 12

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-12

O PAPEL DA POLINIZAÇÃO POR INSETOS EM CULTURAS AUTÓGAMAS

Matheus Carneiro Heinzelmann*; Natália Veleda Duailibe; Lidiane Machado Dionizio; Valeska Cristina de Sousa Silva de Assis Ana Carolina Leal Capanema Barcelos de Freitas ; Renato Dusmon Vieira; Carlos de Melo e Silva Neto

**Autor correspondente (Corresponding author) – Email: matheuscarneiroh@gmail.com*

Resumo: A polinização é um processo fundamental para a agricultura, sendo a entomofilia um serviço ecossistêmico de grande impacto econômico. Embora espécies autógamas possuam autonomia reprodutiva, a polinização cruzada mediada por insetos otimiza a produtividade. O objetivo deste trabalho foi sintetizar os achados da literatura sobre os benefícios da visitação de insetos para plantas com capacidade de autofecundação. A interação com polinizadores resulta em melhorias quantitativas e qualitativas, com a literatura reportando ganhos de produtividade de até 49,30% na canola e de mais de 50% na soja. No café, a ação de abelhas nativas pode aumentar o peso dos frutos em 67%, enquanto no feijão, a polinização eleva a probabilidade de um grão ser classificado como de "alta qualidade" de 8,8% para até 67,5%. Na cultura do tomate, a polinização por vibração (*buzz pollination*) é crucial para a obtenção de frutos mais pesados e com maior número de sementes. A presente revisão evidencia que a conservação da biodiversidade de polinizadores e a integração de seu manejo nas práticas agrícolas são ferramentas estratégicas para uma agricultura mais resiliente, produtiva e sustentável.

Palavras-chave: abelhas; entomofilia; produtividade agrícola; serviços ecossistêmicos

INTRODUÇÃO

A polinização, processo fundamental para a reprodução sexuada das plantas, consiste na transferência de pólen entre as estruturas reprodutivas das flores, um fenômeno que sustenta tanto a produção de sementes quanto a variabilidade genética (1). A relevância desse mecanismo se mostra ainda maior na agricultura, onde a produção de cerca de 75% das culturas para consumo humano é dependente de polinizadores (2).

Dentre os mecanismos de polinização, a entomofilia (polinização por insetos) se destaca como o serviço ecossistêmico de maior impacto, com um valor econômico global que ultrapassa os 200 bilhões de dólares por ano (3). Insetos como abelhas, vespas, moscas e besouros executam um papel de suma importância, sendo cruciais para a reprodução e a manutenção da diversidade genética da flora global.

Diversas plantas desenvolveram estratégias reprodutivas que contornam a necessidade de polinizadores externos, como é o caso da autogamia. Entretanto, a aparente autonomia reprodutiva das espécies autógamas não anula os benefícios significativos da

polinização cruzada. A interação com insetos tem se mostrado um fator de otimização da produtividade, contrariando a noção de que sua presença seria irrelevante (4). A intervenção de polinizadores em algumas culturas autógamas está diretamente associada a melhorias quantitativas e qualitativas, como o aumento do peso e do número de sementes e aprimoramento de características sensoriais do produto final, resultando em maior valor de mercado (5, 6, 7).

Assim, o objetivo do presente trabalho consiste em sintetizar os achados na literatura acerca da polinização por insetos em culturas autógamas, discutindo seus achados e consequências. Por meio da análise de estudos de caso e da identificação dos principais insetos envolvidos, esta revisão busca ressaltar a importância de integrar o manejo de polinizadores nas práticas agrícolas. A relevância do trabalho se dá em demonstrar que a conservação da biodiversidade de polinizadores é uma ferramenta estratégica para uma agricultura mais resiliente, produtiva e sustentável.

POLINIZAÇÃO E ENTOMOFILIA

O fenômeno da polinização consiste na transferência de grãos de pólen, dos estames para o estigma, ocorrendo tanto na mesma flor quanto entre flores de indivíduos distintos da mesma espécie (1). Este processo é fundamental para a reprodução sexuada das plantas, influenciando diretamente na produção de sementes e frutos, além de contribuir de maneira significativa para a manutenção da diversidade genética das plantas.

No contexto agrícola, a importância da polinização é ainda mais evidente. Cerca de 75% das culturas destinadas à alimentação humana, incluindo frutas, vegetais e grãos, dependem desse processo para garantir uma produção satisfatória (2). A transferência do pólen pode ocorrer por agentes abióticos, como o vento (anemofilia) e a água (hidrofilia), ou por agentes bióticos (zoofilia), podendo envolver aves (ornitofilia), morcegos (quiropterofilia) e, sobretudo, insetos (entomofilia).

A zoofilia, em particular, ocorre quando animais, em busca de recursos como néctar, pólen, óleos ou abrigo, entram em contato com os estames. Durante essa interação, os grãos de pólen aderem ao corpo do animal, que os transporta para outras flores, efetuando a polinização (1). A interação entre polinizadores e plantas representa um longo processo coevolutivo, que resultou em uma interdependência e especificidade entre as espécies envolvidas (8).

A polinização realizada por insetos, conhecida como entomofilia, se destaca como a mais expressiva dentro da zoofilia. Os insetos são os maiores polinizadores do planeta, com destaque para grupos como abelhas, moscas, borboletas, mariposas, vespas, besouros e tripes (9). Dentre estes artrópodes, as abelhas surgem como o grupo de maior importância, sendo responsáveis pela polinização de aproximadamente 75% das espécies cultivadas no mundo (10). A eficiência desses insetos se deve ao fato de que suas larvas se alimentam exclusivamente de pólen e os adultos de néctar, o que os leva a visitar uma grande quantidade de flores diariamente para suprir suas necessidades metabólicas (1). Esse serviço ecossistêmico fundamental possui impacto econômico direto, de modo que é estimado que

o valor da polinização para os 100 principais cultivos para nutrição humana ultrapasse 200 bilhões de dólares anualmente (3).

AUTOGAMIA

A autogamia consiste num mecanismo de reprodução sexuada, caracterizado pela autofecundação, na qual o gameta masculino de uma flor fertiliza o gameta feminino da mesma flor ou de outra flor pertencente à mesma planta (11). Este processo, que dispensa a necessidade de pólen de um indivíduo geneticamente distinto, favorece um elevado grau de homozigose e pode gerar descendentes com grande semelhança genética com a planta-mãe (12).

A viabilidade da autogamia é garantida por uma combinação de mecanismos morfológicos e fisiológicos. Do ponto de vista morfológico, o hermafroditismo, ou seja, a presença de órgãos reprodutivos masculinos e femininos na mesma flor, é a condição primária para que a autofecundação ocorra (13). Além disso, a aproximação espacial entre anteras e estigma permite que o pólen caia diretamente sobre a superfície receptiva, muitas vezes antes mesmo da abertura floral, sem a necessidade de agentes polinizadores (14). Em alguns casos, ocorre a cleistogamia, uma adaptação em que a autofecundação acontece obrigatoriamente dentro de flores que permanecem fechadas (14).

Fisiologicamente, a autocompatibilidade é fundamental, pois permite que o estigma aceite e germine o pólen da própria planta. A sincronia na maturação dos estames e do estigma, conhecida como homogamia, também aumenta a probabilidade de sucesso da autopolinização (15). É importante notar que a autogamia se opõe à autoincompatibilidade, um mecanismo genético que impede a autofecundação. Estudos de autofertilidade demonstram que características como o tamanho da flor e a posição relativa dos órgãos reprodutivos estão diretamente correlacionadas com o sucesso da autofecundação (15, 16, 17).

A autogamia apresenta vantagens evolutivas importantes. A principal delas é a garantia reprodutiva, que permite a produção de sementes mesmo na ausência ou escassez de polinizadores ou em populações geograficamente isoladas. Além disso, a autogamia conserva genótipos bem adaptados a condições locais, promovendo a uniformidade e a estabilidade de características vantajosas. Outro benefício é o menor custo energético, já que a planta pode reduzir o investimento em estruturas elaboradas para atrair polinizadores, como pétalas grandes e coloridas ou néctar. Contudo, essa estratégia reprodutiva também impõe desvantagens relevantes (17). A principal limitação é a redução da variabilidade genética, que pode comprometer a capacidade de uma população se adaptar a novas condições ambientais, pragas ou doenças. O aumento da homozigose também pode levar ao acúmulo de alelos deletérios e à depressão por endogamia, um fenômeno que resulta na redução do vigor e da fertilidade da progênie (12, 17).

Diversas espécies cultivadas de grande importância econômica utilizam a autogamia como principal estratégia reprodutiva. Exemplos clássicos incluem o arroz (*Oryza sativa* L.), a soja (*Glycine max* L.) e o tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Nessas culturas, a alta taxa de autopolinização facilita os programas de melhoramento genético e a produção de cultivares uniformes e estáveis. Além das culturas agrícolas, estudos recentes têm explorado

a complexidade dos sistemas reprodutivos em espécies selvagens. Em outra frente, estudos com o girassol (*Helianthus annuus* L.) identificaram linhagens autógamas e auto-férteis, revelando que o sucesso da autofecundação pode variar sazonalmente, o que destaca a plasticidade dessa estratégia reprodutiva (18).

ENTOMOFILIA EM PLANTAS AUTÓGAMAS

ARROZ (*Oryza sativa* L.)

A cultura do arroz, mesmo sendo uma espécie tradicionalmente anemófila, apresenta uma ampla entomofauna associada à sua inflorescência, contabilizando, em média, 510 espécies (19). Essa diversidade inclui abelhas, como a abelha-europeia (*Apis mellifera* (Linnaeus, 1758)) e as abelhas-do-suor (*Halictus* spp.), além de moscas-das-flores (Diptera, Syrphidae). A atividade desses insetos tem um impacto direto e significativo na produtividade, de modo que o livre acesso de polinizadores em lavouras de arroz resulta em 97% menos grãos chochos em comparação com flores que foram completamente isoladas (4). Além do ganho de produtividade, polinizadores como as abelhas se destacam por carregar quantidades consideráveis de pólen por distâncias maiores que o vento, o que aumenta significativamente o fluxo gênico no arroz (19).



Figura 1 – Abelha (*A. mellifera*) forrageando em lavoura de arroz (*Oryza sativa* L.), com grãos de pólen indicados pela seta. Fonte: Pu *et al*. (19).

Entretanto, esse aumento no fluxo gênico não é necessariamente benéfico. No contexto do uso de plantas transgênicas, a eficiência da entomofilia representa um grande risco à biossegurança, pois aumenta a probabilidade de escape de transgenes. Esse fenômeno pode levar à contaminação de lavouras convencionais, resultando na presença acidental de transgenes em variedades não geneticamente modificadas (19).

CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

Na cultura do café-arábica, os benefícios provenientes da polinização por insetos vêm se mostrando notáveis, sendo um fator crucial para a produção global (20, 21). De acordo com Moreaux *et al.* (21), a polinização por animais aumenta, em média, a frutificação do café em cerca de 18%. Este efeito é claramente observado em pesquisas de campo, como observado no trabalho de Almeida-Dias *et al.* (5), na região Sudeste do Brasil, onde a introdução de abelhas africanizadas (*A. mellifera*) (Figura 2) promoveu um crescimento médio na produção de 16,5% em sacas por hectare, enquanto a utilização de abelhas nativas

sem ferrão (*Scaptotrigona depilis* (Moure, 1942)) resultou num aumento de 67% no peso dos frutos por ramo.



Figura 2 – Abelha (*A. mellifera*) em lavoura de café (*Coffea arabica* L.). Fonte: Susan Mills, The Queen Bean (2022).

Além dos ganhos em produtividade, a qualidade da bebida, fator determinante para o valor de mercado, também é fortemente influenciada pelos polinizadores (22, 23). Almeida-Dias *et al.* (5) demonstraram também que a polinização por abelhas melhorou a pontuação sensorial do café, gerando um benefício econômico de 13,15% para os agricultores. Com resultados análogos, a pesquisa de Karanja *et al.* (23), realizada no Quênia, concluiu que os maiores pesos de fruto e a melhor qualidade de xícara foram registrados em cafés de polinização aberta e cruzada, em contraste com a autopolinização.

No entanto, a relação entre polinização e qualidade pode apresentar complexidades. O trabalho de Aristizábal *et al.* (22), realizado na Costa Rica, revelou a existência de "trocas compensatórias", de modo que enquanto a polinização por abelhas aumentou a frutificação em 9% e melhorou o aroma em 2%, os frutos pesaram 7% a menos e a bebida foi avaliada como tendo menos equilíbrio no perfil sensorial. Esses resultados sugerem que, dependendo das condições, a polinização pode favorecer certos atributos de qualidade em detrimento de outros. Ademais, a diversidade e a abundância dos polinizadores, em especial abelhas, são influenciadas pelo manejo da lavoura, como a presença ou ausência de sombreamento, que pode favorecer diferentes grupos funcionais de abelhas, influenciando também seus reflexos na produção (20).

CANOLA/COLZA (*Brassica napus* var. *oleifera* L.)

A polinização cruzada, especialmente por abelhas *A. mellifera*, eleva significativamente a produtividade da canola. Trabalhos no Brasil já verificaram que a visita de *A. mellifera* (Figura 3) aumentava o número de vagens por metro quadrado e o peso individual das sementes, mesmo sem alterar o número de sementes por vagem ou o teor de óleo (24). De acordo com Chambó *et al.* (25), a produtividade de grãos foi até 49,30% maior em áreas com acesso de abelhas em comparação com áreas isoladas, enquanto o trabalho de Rosa, Blochtein e Lima (26) apontou um aumento na produtividade de sementes de 28,4% (em autogamia) para 50,4% com a livre visitação de insetos.



Figura 3 – Abelha (*A. mellifera*) polinizando uma flor de canola (*Brassica napus* L. var. oleifera).
Fonte: Wenderson Araujo/TriluxCNA, Monaco Nature Encyclopedia (2023).

Além do impacto direto dos polinizadores, a composição da paisagem agrícola é um fator de suma importância. Um estudo na Argentina mostrou que a proximidade de habitats seminaturais aumentou a produção de sementes em 34%, um ganho próximo ao aumento de 35% proporcionado pela própria visita dos insetos (27). Ademais, a contribuição desses polinizadores torna-se ainda mais crítica sob condições de estresse, em que a polinização cruzada pode mitigar perdas de produtividade causadas por clima desfavorável ao desenvolvimento da canola (25).

FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.)

As flores do feijoeiro exigem visitantes maiores, como as abelhas do gênero *Xylocopa* (Figura 4), que possuem peso suficiente para acionar o mecanismo de abertura da quilha (estrutura floral), expondo as anteras e o estigma e permitindo uma polinização efetiva (28, 29, 30). Abelhas menores e outros insetos frequentemente atuam como pilhadores de néctar, acessando o recurso sem contato com as estruturas reprodutivas (29, 30). Em um estudo no Cerrado brasileiro, por exemplo, a abelha *A. mellifera* atuou como pilhadora em 75% de suas visitas (28).



Figura 4 – *Xylocopa grisescens* (Lepeletier, 1841) polinizando feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Fonte: Adaptado de Franceschinelli *et al*. (29).

A contribuição dos polinizadores para o feijoeiro comum se manifesta tanto na quantidade quanto na qualidade dos grãos. Estudos indicam que a polinização por abelhas pode aumentar o número de sementes por vagem e o peso total das sementes (29). Além do rendimento, a entomofilia influencia características que determinam o valor de mercado do feijão, como o tamanho e a cor dos grãos (28). Em lavouras no Centro-Oeste brasileiro, maiores densidades de polinizadores nativos foram associadas a grãos maiores e mais claros,

elevando a probabilidade de um grão ser classificado como de “alta qualidade” de 8,8% para até 67,5% (28).

É interessante verificar que os benefícios da polinização podem ser modulados por práticas agrícolas. O efeito positivo dos polinizadores na qualidade do feijão foi mais evidente sob níveis mais baixos de fertilização nitrogenada, conforme apontado por Silva *et al*. (28). Quando a aplicação de nitrogênio ultrapassou a dosagem recomendada, os benefícios dos polinizadores nativos na coloração dos grãos não foram mais detectados (28). Esse achado sugere que a intensificação de práticas agrícolas, como o excesso de adubação, pode diminuir ou até anular os serviços ecossistêmicos prestados pelos polinizadores. Dessa forma, a conservação de habitats naturais próximos às lavouras é fundamental para manter populações de polinizadores eficazes, que podem, consequentemente, melhorar a produtividade e o valor de mercado do feijão (28, 29, 30).

GRÃO-DE-BICO (*Cicer arietinum* L.)

A polinização cruzada realizada por insetos na cultura do grão-de-bico desempenha um papel significativo, e a presença de visitantes florais resulta em aumento na produtividade e na qualidade da colheita (31). A diversidade de insetos polinizadores em cultivos de grão-de-bico é grande, incluindo abelhas (Figura 5), vespas, moscas, mariposas e borboletas, como observado em estudos conduzidos no Paquistão e na Índia (31, 32).



Figura 5 – Abelha (*Pseudomegachile* sp.) forrageando lavoura de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) Fonte: Adaptado de Shankar e Mukhtar (2024).

Latif *et al*. (31) demonstraram que a polinização cruzada resultou em um aumento significativo no peso da cápsula, no peso das sementes, no número de sementes por cápsula e na taxa de germinação das sementes. Esses resultados reforçam que a manutenção de uma comunidade diversa e abundante de polinizadores é fundamental para maximizar o rendimento e a sustentabilidade da cultura do grão-de-bico (32).

MAMONA (*Ricinus communis* L.)

A diversidade de insetos visitantes nas flores de mamona é considerável, sendo a ordem Hymenoptera a mais representativa (33). Abelhas como *Apis dorsata*, *A. mellifera* (Figura 6), *A. cerana* (Fabricius, 1793), *A. florea* (Fabricius, 1787) e *Trigona* sp. são visitantes frequentes, atraídas principalmente pelas grandes quantidades de pólen e néctar

(34, 35). Em particular, *A. mellifera* apresenta grande eficiência, pois além da transferência ativa de pólen, ao se movimentar sobre as anteras, provoca sua deiscência explosiva, aumentando a quantidade de pólen disperso no ar e potencializando tanto a autopolinização quanto a polinização pelo vento (34).



Figura 6 – Abelha (*A. mellifera*) polinizando flores de mamona (*Ricinus communis* L.) Fonte: Adaptado de Rizzardo *et al*. (2012).

Estudos demonstram que a introdução de colônias de *A. mellifera* em cultivos comerciais pode aumentar a frutificação em 17% e elevar a produção de sementes por hectare em mais de 30% (34). Essa melhoria na produtividade ocorre porque a ação das abelhas aumenta a taxa de geitonogamia, que demonstrou maior eficiência para a frutificação do que a polinização cruzada via anemofilia (34). Dessa forma, demonstra-se que a atividade dos insetos polinizadores é fundamental para superar o déficit de polinização e maximizar o rendimento da cultura da mamona.

PIMENTÃO (*Capsicum annuum* L.)

A cultura do pimentão apresenta uma grande diversidade de polinizadores eficientes (Figura 7). Em cultivos protegidos, abelhas como *Bombus impatiens* e abelhas sem ferrão, como *Melipona quadrifasciata* (Lepeletier, 1836) e a *M. subnitida* (Ducke, 1911), promoveram um aumento significativo do peso, do diâmetro, do volume e do número de sementes dos frutos (36, 37, 38). Até mesmo insetos que não realizam polinização por vibração, como as moscas-das-flores *Eristalis tenax* (Linnaeus, 1758), demonstraram aumentar a produção de sementes e o tamanho dos frutos ao promoverem o deslocamento mecânico do pólen durante suas visitas (39, 40). Ademais, abelhas nativas de pequeno porte, como as dos gêneros *Exomalopsis*, *Dialictus* e *Augochlora*, são importantes visitantes (41).

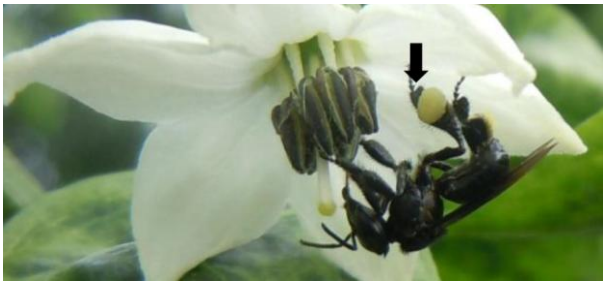


Figura 7 – Abelha (*Heterotrigona itama* (Cockerell, 1918)) forrageando flor de pimentão (*Capsicum annuum* L.). Fonte: Adaptado de Azmi, Seng e Solihin (44).

A entomofilia melhora os atributos comerciais do pimentão, de modo que frutos oriundos de flores polinizadas por abelhas são mais pesados, mais largos, mais compridos e possuem maior quantidade de sementes em comparação com frutos autopolinizados (36, 42, 43). Observou-se uma considerável correlação positiva entre o número de sementes e o tamanho e peso do fruto, indicando que uma polinização mais completa, com a fertilização de um maior número de óvulos, estimula um maior desenvolvimento do fruto (40, 42). Além disso, a presença de abelhas pode acelerar o tempo de maturação, reduzindo os dias entre a frutificação e a colheita (36).

Vale apontar que práticas de manejo, como o consórcio com plantas atrativas como o manjericão (*Ocimum basilicum* L.), podem aumentar a abundância e a riqueza de abelhas na lavoura, potencializando ainda mais os serviços de polinização e a produtividade da cultura (42).

PITAYA (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose)

As espécies de pitaya apresentam diferentes estratégias reprodutivas. A pitaya de polpa branca, por exemplo, demonstra um alto grau de autogamia, alcançando a frutificação máxima mesmo na ausência de polinizadores (45). Embora a autopolinização garanta a quantidade, a qualidade dos frutos é significativamente melhorada pela polinização biótica (Figura 8). Frutos oriundos de flores visitadas por polinizadores noturnos, como morcegos e a mariposa *Agrius cingulata* (Fabricius, 1775), mostraram-se maiores e mais pesados se comparados aos autopolinizados (45). Dessa forma, mesmo em variedades autógamas, a polinização complementar por insetos é essencial para otimizar o rendimento e o valor comercial da pitaya.



Figura 8 – Grupo de *A. mellifera* polinizando pitaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose*)*. Fonte: Adaptado de Muniz *et al.* (45).

SOJA (*Glycine max* L.)

Apesar de autógama, a cultura da soja possui flores que produzem néctar e pólen, atraindo diversos insetos. A entomofauna polinizadora presente em lavouras de soja é diversa (Figura 9), embora a abelha *A. mellifera* seja frequentemente a espécie mais abundante (46, 47). Além dela, abelhas nativas de diferentes famílias como Halictidae, Megachilidae e Andrenidae, e outros insetos como moscas e borboletas, também forrageiam nas flores de soja (48, 49, 50). A atratividade das flores e, consequentemente, a intensidade

da visitação, podem variar de acordo com a cultivar de soja e as condições ambientais, que influenciam a produção de néctar e a liberação de compostos voláteis (51, 46).



Figura 9 – *A. mellifera* visitando flor de soja (*Glycine max* L.*)*. Fonte: Adaptado de Milfont *et al*. (2013).

Há uma crescente discussão na literatura sobre os benefícios da polinização entomófila para a soja (46, 48). Diversos estudos conduzidos em gaiolas de exclusão relatam aumentos significativos no rendimento de grãos na presença de abelhas, com ganhos que podem variar de 18% a mais de 50% em comparação às parcelas sem polinizadores (51, 52, 47, 50). Os ganhos são geralmente associados a um aumento no número de vagens por planta e no número de sementes por vagem (52, 53).

Em contrapartida, o peso individual da semente pode ser maior em plantas autopolinizadas, possivelmente devido a uma menor competição por recursos quando há menos sementes se desenvolvendo (52, 47). Apesar dos resultados contraditórios, a presença consistente de abelhas nas lavouras e os múltiplos relatos de aumento de produtividade indicam que o serviço de polinização pode ser um fator relevante para otimizar o rendimento da soja (46, 50).

TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

O tomateiro é uma planta predominantemente autógama, com flores hermafroditas que se autopolinizam sem a intervenção de agentes externos (7, 54). Entretanto, o pólen não é liberado facilmente e requer vibração para ser expelido das anteras, um mecanismo especializado conhecido como polinização por vibração ou *buzz pollination* (55, 56)

Abelhas de grande e médio porte, como mamangavas dos gêneros *Bombus* e *Xylocopa*, e abelhas solitárias dos gêneros *Centris* e *Exomalopsis*, são os principais e mais eficazes polinizadores dessa cultura (55, 56, 57). Abelhas menores, como as dos gêneros *Amegilla*, *Augochloropsis* e abelhas sem ferrão (*Melipona;* grupos que vibram) (Figura 10), também são capazes de contribuir ativamente para a polinização (55, 58, 59, 60). A frequência e a duração das vibrações aplicadas por essas abelhas estão diretamente relacionadas à quantidade de pólen liberado, sendo um fator essencial para o sucesso da fertilização (61).



Figura 10 – *M. quadrifasciata* polinizando flor de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.). Fonte: Adaptado de Silva-Neto *et al*. (61)

A contribuição da polinização por vibração para a produtividade e qualidade do tomate é amplamente documentada na literatura. Frutos provenientes de flores visitadas por abelhas vibradoras são significativamente mais pesados, possuem maior diâmetro e contêm um número muito superior de sementes em comparação com frutos autopolinizados ou visitados por abelhas não vibradoras (7, 55, 57, 59, 60). O número de sementes está diretamente correlacionado com o peso e o tamanho do fruto, indicando que uma polinização mais completa leva a um maior desenvolvimento do ovário (7, 57).

Além do rendimento, a polinização por abelhas também pode melhorar a firmeza dos frutos (60). Esses benefícios demonstram que, embora autógama, a cultura do tomate é altamente dependente dos serviços de polinização por abelhas nativas vibradoras para atingir seu potencial produtivo e comercial máximo (7, 56).

PRINCIPAIS GRUPOS DE INSETOS POLINIZADORES EM AUTÓGAMAS

Embora as plantas autógamas possam se reproduzir independentemente de polinizadores, como detalhado anteriormente, a visita de insetos pode trazer benefícios significativos à produtividade e qualidade dos frutos e grãos. A entomofauna associada a estas culturas é diversa, variando conforme a espécie vegetal e o ambiente. Com base nos estudos de caso apresentados e em outras fontes da literatura, os principais grupos de insetos envolvidos na polinização de culturas autógamas estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1: Principais grupos de insetos polinizadores associados a culturas autógamas e seus impactos.

Cultura (Espécie)	**Inseto(s) Polinizador(es)**	**Principal Benefício**	**Fonte**
Arroz (*Oryza sativa*)	Hymenoptera: *Apis mellifera*, *Halictus* spp. Diptera: Syrphidae	Aumento do fluxo gênico.	Pu *et al*. (19)
Café (*Coffea arabica*)	Hymenoptera: *A. mellifera*, *Scaptotrigona depilis*	Aumento da frutificação, maior peso dos frutos e melhor qualidade sensorial.	Almeida-Dias *et al*. (5); Moreaux *et al*. (21)

Canola (*Brassica napus*)	Hymenoptera: *A. mellifera*	Aumento do nº de grãos e do número de vagens.	Chambó *et al*. (25); Rosa *et al*. (26)
Feijão (*Phaseolus vulgaris*)	Hymenoptera: *Xylocopa* spp.	Aumento do número e peso de sementes, melhoria da qualidade das características de tamanho e cor do grão.	Silva *et al*. (6); Franceschinelli *et al*. (29)
Grão-de-bico (*Cicer arietinum*)	Hymenoptera (abelhas, vespas), Diptera (moscas), Lepidoptera (borboletas e mariposas)	Aumento do peso da cápsula, peso e número de sementes e taxa de germinação.	Latif *et al*. (31); Verma *et al*. (32)
Mamona (*Ricinus communis*)	Hymenoptera: *A. mellifera*, *A. dorsata*, *A. cerana*, *A. florea*, *Trigona* sp.	Aumento da frutificação e da produção de sementes via geitonogamia.	Rizzardo *et al*. (34); Nayak *et al*. (35)
Pimentão (*Capsicum annuum*)	Hymenoptera: *Bombus impatiens*, *Melipona* spp., *Exomalopsis*, *Dialictus*, *Augochlora*. Diptera: *Eristalis tenax*	Aumento do peso, diâmetro, volume e número de sementes dos frutos.	Cruz *et al*. (37); Pereira *et al*. (42); Jarlan *et al*. (40)
Pitaya (*Hylocereus undatus*)	Lepidoptera: *Agrius cingulata*	Aumento do tamanho e peso dos frutos, ou seja, melhoria da qualidade.	Muniz *et al*. (45)
Soja (*Glycine max*)	Hymenoptera: *A. mellifera*, Halictidae, Megachilidae, Andrenidae. Diptera, Lepidoptera.	Aumento no rendimento de grãos, número de vagens por planta e sementes por vagem.	Chiari *et al*. (52); Blettler *et al*. (47); Wolditsadik *et al*. (50); Gazzoni (46)
Tomate (*Solanum lycopersicum*)	Hymenoptera: *Bombus* spp., *Xylocopa* spp., *Centris* spp., *Exomalopsis* spp., *Amegilla* spp., *Augochloropsis* spp., *Tetragonula* spp., *Melipona* spp.	Aumento do peso, diâmetro e número de sementes dos frutos e melhoria da firmeza.	Silva-Neto *et al*. (7, 55); Salvarrey *et al*. (56); Rijo *et al*. (57); Guarido *et al*. (60)

PADRÕES GERAIS E TENDÊNCIAS OBSERVADAS

Como demonstrado na Tabela 1, a ordem Hymenoptera, com destaque para as abelhas, consolida-se como o grupo de polinizadores mais frequente e impactante nas principais culturas autógamas, estando presente em todas as culturas analisadas. Sua atuação é crucial desde a polinização por vibração no tomate até o aumento do fluxo gênico no arroz e da produtividade na soja e no feijão. Outros grupos também desempenham papéis especializados e importantes: as moscas (Diptera) são polinizadores significativos em culturas como o arroz, grão-de-bico e pimentão; e as borboletas e mariposas (Lepidoptera) são essenciais para a qualidade da pitaya e também visitam o grão-de-bico.

A presença e a diversidade desses insetos estão diretamente ligadas a ganhos quantitativos (aumento de produtividade, número de vagens por sementes) e qualitativos (melhoria do tamanho, peso, cor e firmeza dos frutos e grãos). Esses resultados reforçam a importância crítica de práticas de manejo que favoreçam a conservação e a abundância de polinizadores, mesmo em culturas com capacidade de autopolinização.

IMPLICAÇÕES PARA O MANEJO E CONSERVAÇÃO

A conservação de polinizadores em culturas autógamas não apenas aumenta a produtividade, mas também contribui para a resiliência do agroecossistema. Estratégias como a introdução de colmeias manejadas, a preservação de polinizadores nativos e a integração de práticas agroecológicas são fundamentais para maximizar os serviços de polinização. Estudos mostram que mesmo em culturas autocompatíveis, a suplementação ou o manejo de polinizadores pode reduzir limitações de polinização e aumentar a produção em cerca de 20 a 30 % em muitos casos (62) Além disso, comunidades de polinizadores mais diversas aumentam a estabilidade interanual dos serviços de polinização, reduzindo variações de rendimento, manifestando-se como maior resiliência frente a perturbações ambientais (63).

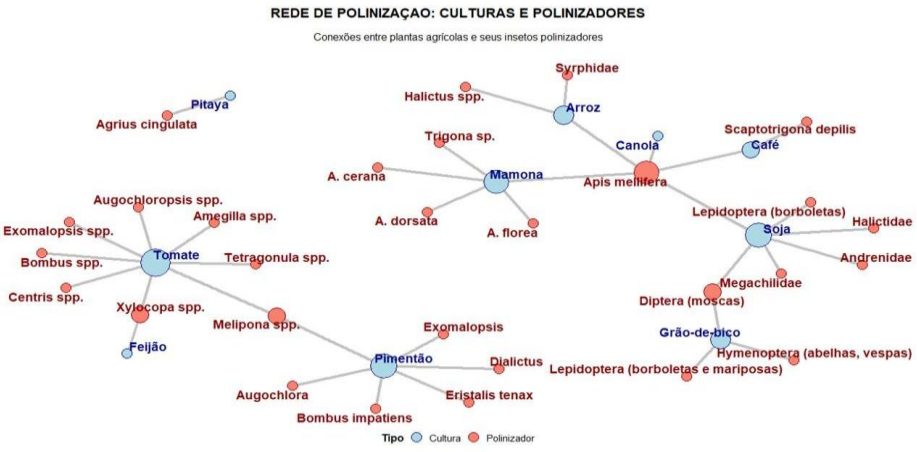


Figura 11 – Rede de polinização entre culturas agrícolas (nós azuis) e seus polinizadores (nós vermelhos). O tamanho dos nós é proporcional ao número de conexões estabelecidas, indicando a centralidade das espécies na rede. As linhas representam as interações de polinização entre culturas e polinizadores.

A rede de polinização presente na Figura 11 evidencia as conexões entre diferentes culturas agrícolas e seus respectivos polinizadores, representando a complexa teia de interações que sustenta a produção agrícola. Observa-se que algumas culturas, como o tomate e o pimentão, apresentam elevada diversidade de polinizadores associados. O tomate, por exemplo, conecta-se a diferentes grupos, incluindo abelhas dos gêneros *Xylocopa*, *Bombus*, *Centris*, *Exomalopsis* e *Melipona*, o que demonstra sua dependência de múltiplos visitantes florais. O pimentão, por sua vez, interage tanto com abelhas quanto com moscas, como *Eristalis tenax*, evidenciando uma polinização mais generalista. Essa diversidade de interações sugere maior resiliência dessas culturas, uma vez que não dependem exclusivamente de um único polinizador (55).

Por outro lado, algumas culturas aparecem associadas a um número reduzido de polinizadores, como a pitaya, ligada apenas à mariposa *Agrius cingulata*, e o feijão, conectado apenas a *Xylocopa* spp. Essa dependência mais restrita evidencia a vulnerabilidade dessas espécies agrícolas diante do declínio populacional de seus polinizadores específicos. A perda desses agentes pode comprometer diretamente a produtividade dessas culturas, destacando a necessidade de estratégias de conservação direcionadas (64).

Entre os polinizadores, destaca-se a presença central da *A. mellifera*, que interage com diversas culturas, como soja, canola, mamona e café. Essa espécie desempenha papel fundamental como polinizador generalista, atuando em diferentes sistemas produtivos. Outros grupos também se destacam pela generalização de suas interações, como borboletas e mariposas (Lepidoptera) e moscas (Diptera), que contribuem para a manutenção da rede de polinização.

De modo geral, a rede apresentada ressalta a importância da diversidade de polinizadores para a estabilidade e produtividade dos agroecossistemas. Culturas associadas a múltiplos visitantes florais apresentam maior capacidade de manter sua produção frente a variações ambientais ou declínios populacionais de determinadas espécies. Em contrapartida, aquelas dependentes de polinizadores específicos encontram-se mais suscetíveis a perdas de rendimento. Assim, a conservação de habitats naturais e a adoção de práticas agrícolas que favoreçam a diversidade de polinizadores emergem como estratégias essenciais para a sustentabilidade da agricultura (65).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A polinização por insetos, com destaque para as abelhas, se consolida como um serviço ecossistêmico estratégico que vai além do transporte de pólen. Conforme demonstrado ao longo deste trabalho, essa atividade atua como um “otimizador de produção”, que eleva o rendimento e a qualidade de culturas autógamas como o café, a soja e o tomate, e como um “seguro biológico”, que confere resiliência às safras diante de instabilidades ambientais e do declínio de polinizadores silvestres. Os ganhos são expressivos, desde o aumento no peso dos frutos até a melhoria nos atributos físico-químicos e no valor de mercado de diversos produtos agrícolas.

As implicações para a agricultura sustentável são amplas. O valor econômico gerado pela polinização otimizada pode financiar práticas de conservação, como a restauração de habitats e a criação de corredores ecológicos, estabelecendo um ciclo gerador de benefícios adicionais, como a manutenção da biodiversidade funcional e a mitigação de impactos climáticos. Para que isso se concretize, no entanto, é indispensável um manejo integrado que harmonize a promoção de polinizadores com o uso responsável de defensivos agrícolas.

Diante do exposto, para consolidar a polinização manejada como uma ferramenta central da agricultura moderna, pesquisas devem avançar em campos estratégicos. São necessários estudos comparativos que avaliem a eficácia de múltiplos polinizadores, especialmente espécies nativas pouco exploradas, em diferentes cenários edafoclimáticos. A ecotoxicologia precisa expandir seu foco para além do modelo da *A. mellifera*, investigando os mecanismos de resiliência em abelhas sem ferrão. Adicionalmente, a aplicação de tecnologias de agricultura de precisão e modelagem ecológica permitirá o monitoramento de déficits de polinização em tempo real, fortalecendo a gestão adaptativa dos sistemas agrícolas.

Em síntese, a polinização por insetos deve ser concebida como um eixo da intensificação agrícola sustentável. Reconhecer, manejar e conservar a diversidade de polinizadores são ações fundamentais não apenas para garantir a produtividade e a segurança alimentar, mas também para promover a integridade funcional dos agroecossistemas como um todo.

REFERÊNCIAS

1. Freitas B, Silva C. O Papel dos Polinizadores na Produção Agrícola no Brasil. *In*: Agricultura e Polinizadores. São Paulo: Associação Brasileira de Estudos das Abelhas; 2015.

2. Marques M, *et al*. Polinizadores na Agricultura: Ênfase em Abelhas. Rio de Janeiro: Funbio; 2015.

3. Gullan P, Cranston P. Insetos: Fundamentos da Entomologia. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2023.

4. Moreira TS, Oliveira GS, Latini AO. Importância da entomofilia na produtividade de alimentos: evidências da cultura de arroz (*Oryza sativa*). Viçosa: Sociedade de Ecologia do Brasil; 2017.

5. Almeida-Dias JMV, Campbell AJ, Moure-Oliveira D, Alves DA, Quenzer FCL, Ramos JD, *et al*. Managed Africanized honey bees and native stingless bees increase Arabica coffee yields in southeastern Brazil. Sci Agric. 2025;82:e20230049.

6. Silva FDS, Ramos DL, Mertens F, Carvalheiro LG. Native pollinators improve the quality and market value of common bean. Agric Ecosyst Environ. 2023;349:108432.

7. Silva Neto CM, Lima FG, Gonçalves BB, Bergamini LL, Bergamini BAR, Elias MAS, *et al*. Native bees pollinate tomato flowers and increase fruit production. J Pollinat Ecol. 2013;11(6):41-5.

8. Deprá MS, Gaglianone MC. Interações entre plantas e polinizadores sob uma perspectiva temporal. Oecol Aust. 2018;22:1-16.

9. Wolowski M, *et al*. Relatório Temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção de Alimentos no Brasil. São Carlos: Editora Cubo; 2019.

10. Pereira FM. Conservação de recursos genéticos de insetos polinizadores. 2016 [acesso em 7 Mar 2024]. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/210682/conservacao-de-recursos-geneticos-de-insetos-polinizadores.

11. Aguilar-Benitez D, Casimiro-Soriguer I, Ferrandiz C, *et al*. Study and QTL mapping of reproductive and morphological traits implicated in the autofertility of faba bean. BMC Plant Biology. 2022;22:175.

12. Reutemann AV, Schedler M, Hojsgaard DH, Brugnoli EA, Zilli AL, Acuña CA, *et al*. The role of reproductive modes in shaping genetic diversity in polyploids: a comparative study of selfing, outcrossing, and apomictic *Paspalum* species. Plants. 2025;14(3):476.

13. Suetsugu K. Transcriptomic heterochrony and completely cleistogamous flowers in *Lathyrus japonicus* (Fabaceae). New Phytologist. 2023;227(1):89–102.

14. Taura L, Gudžinskas Z. Effect of simulated autogamy and allogamy on the success of *Cephalanthera longifolia* and *Cephalanthera rubra* (Orchidaceae) fruit set. Diversity. 2025;17(1):73.

15. Barônio GJ, Maciel AA, Oliveira AC, Kobal ROAC, Meireles DAL, Brito VLG, *et al*. Plantas, polinizadores e algumas articulações da biologia da polinização com a teoria ecológica. Rodriguésia. 2016;67(2):275-93.

16. Pedro J, Blas W, Reyes D, Rodríguez L, Rosales S, Ruíz J, *et al*. Mejoramiento genético en plantas autógamas. Rebiol. 2021;41(1):136-53.

17. Goodwillie C, Kalisz S, Eckert CG. The evolutionary enigma of mixed mating systems in plants: occurrence, theoretical explanations, and empirical evidence. Annu Rev Ecol Evol Syst. 2005;36:47–79.

18. Singh AK, Dhuppe MV, Pole SP, Meena PK. Identification of autogamous and self-fertile lines in sunflower (*Helianthus annuus* L.) across seasons. J Adv Biol Biotechnol. 2024;27(10):1287–92.

19. Pu DQ, Shi M, Wu Q, Gao MQ, Liu JF, Ren S, *et al*. Flower-visiting insects and their potential impact on transgene flow in rice. J Appl Ecol. 2014;51(5):1357-65.

20. Ngo HT, Gibbs J, Griswold T, Packer L. Evaluating bee (Hymenoptera: Apoidea) diversity using Malaise traps in coffee landscapes of Costa Rica. Can Entomol. 2013;145:435-53.

21. Moreaux C, Meireles DAL, Sonne J, Badano EI, Classen A, González-Chaves A, *et al*. The value of biotic pollination and dense forest for fruit set of Arabica coffee: a global assessment. Agric Ecosyst Environ. 2022;323:107680.

22. Aristizábal N, Mora-Mena SE, Martínez-Salinas A, Chain-Guadarrama A, Castillo D, Murillo JB, *et al*. Bee pollination affects coffee quality, yield, and trade-offs within them. Agric Ecosyst Environ. 2025;377:109258.

23. Karanja RHN, Njoroge GN, Kihoro JM, Gikungu MW, Newton LE. The role of bee pollinators in improving berry weight and coffee cup quality. Asian J Agric Sci. 2013;5(4):52-5.

24. Adegas JEB, Nogueira Couto RH. Entomophilous pollination in rape (*Brassica napus* L var oleifera) in Brazil. Apidologie. 1992;23:203-9.

25. Chambó ED, Oliveira NTE, Garcia RC, Duarte-Júnior JB, Ruvolo-Takasusuki MCC, Toledo VA. Pollination of rapeseed (*Brassica napus*) by Africanized honeybees (Hymenoptera: Apidae) on two sowing dates. An Acad Bras Cienc. 2014;86(4):2087-100.

26. Rosa AS, Blochtein B, Lima DK. Honey bee contribution to canola pollination in Southern Brazil. Sci Agric. 2011;68(2):255-9.

27. Mazzei MP, Vesprini JL, Galleto L. Seminatural habitats and their proximity to the crop enhances canola (*Brassica napus*) pollination and reproductive parameters in Argentina. Crop Sci. 2021;61:2713-21.

28. Silva FDS, Ramos DL, Mertens F, Carvalheiro LG. Native pollinators improve the quality and market value of common bean. Agric Ecosyst Environ. 2023;349:108432.

29. Franceschinelli EV, Ribeiro PLM, Mesquita-Neto JN, Bergamini LL, Madureira de Assis I, Elias MAS, *et al*. Importance of biotic pollination varies across common bean cultivars. J Appl Entomol. 2021;146(1-2):32-43.

30. Paulino CS, Carneiro LT, Almeida NM, Santa-Martinez E, Castro CC. Neutral influence of animal pollination in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae) production and seed germination. Sci Hortic. 2023;318:112096.

31. Latif A, Malik SA, Saeed S, Iqbal N, Saeed Q, Khan KA, *et al*. Diversity of pollinators and their role in the pollination biology of chickpea, *Cicer arietinum* L. (Fabaceae). J Asia Pac Entomol. 2019;22(2):597-601.

32. Verma P, Jagarwal M, Kachhawa R, Kachhawa G. Assessing pollinator communities of chickpea (*Cicer arietinum* L.): Diversity, abundance, and pollination efficacy in Jaipur District, Rajasthan, India. Int J Entomol Res. 2025;10(7):202-7.

33. Navatha L, Sreedevi K. Insect pollinator diversity and abundance in Castor, *Ricinus communis* L. Curr Biotica. 2012;6(2):251-3.

34. Rizzardo RAG, Milfont MO, Silva EMS, Freitas BM. *Apis mellifera* pollination improves agronomic productivity of anemophilous castor bean (*Ricinus communis*). An Acad Bras Cienc. 2012;84(4):1137-45.

35. Nayak SB, Kumar Y, Yadav S. Foraging duration of pollinators and their movement on *Ricinus communis*. J Pharmacogn Phytochem. 2020;9(3):2285-8.

36. Shipp JL, Whitfield GH, Papadopoulos AP. Effectiveness of the bumble bee, *Bombus impatiens* Cr. (Hymenoptera: Apidae), as a pollinator of greenhouse sweet pepper. Sci Hortic. 1994;57:29-39.

37. Cruz DO, Freitas BM, Silva LA, Silva EMS, Bomfim IGA. Pollination efficiency of the stingless bee *Melipona subnitida* on greenhouse sweet pepper. Pesq Agropec Bras. 2005;40(12):1197-201.

38. Roselino AC, Santos SAB, Bego LR. Qualidade dos frutos de pimentão (*Capsicum annuum* L.) a partir de flores polinizadas por abelhas sem ferrão (*Melipona quadrifasciata* anthidioides Lepeletier 1836 e *Melipona scutellaris* Latreille 1811) sob cultivo protegido. Rev Bras Biocienc. 2010;8(2):154-8.

39. Jarlan A, Oliveira D, Gingras J. Effects of *Eristalis tenax* (Diptera: Syrphidae) pollination on characteristics of greenhouse sweet pepper fruits. J Econ Entomol. 1997;90(6):1650-4.

40. Jarlan A, Oliveira D, Gingras J. Pollination by *Eristalis tenax* (Diptera: Syrphidae) and seed set of greenhouse sweet pepper. J Econ Entomol. 1997;90(6):1646-9.

41. Raw A. Foraging behaviour of wild bees at hot pepper flowers (*Capsicum annuum*) and its possible influence on cross pollination. Ann Bot. 2000;85:487-92.

42. Pereira ALC, Taques TC, Valim JOS, Madureira AP, Campos WG. The management of bee communities by intercropping with flowering basil (*Ocimum basilicum*) enhances pollination and yield of bell pepper (*Capsicum annuum*). J Insect Conserv. 2015;19:479-86.

43. Putra DP, Dahelmi, Salmah S, Swasti E. Pollination in chili pepper (*Capsicum annuum* L.) by *Trigona laeviceps* and *T. minangkabau* (Hymenoptera, Meliponini). J Entomol Zool Stud. 2016;4(4):191-4.

44. Azmi WA, Seng CT, Solihin NS. Pollination efficiency of the stingless bee, *Heterotrigona itama* (Hymenoptera: Apidae) on chili (*Capsicum annuum*) in greenhouse. J Trop Plant Physiol. 2016;8:1-11.

45. Muniz JPO, Bomfim IGA, Corrêa MCM, Freitas BM. Complementary bee pollination maximizes yield and fruit quality in two species of self-pollinating pitaya. Rev Cienc Agron. 2020;51(4):e20207106.

46. Gazzoni DL. Soja e Abelhas. Londrina: Embrapa Soja; 2017. (Embrapa Soja. Documentos, 387).

47. Blettler DC, Fagúndez GA, Caviglia NP. Honey bee pollination and its effect on the quality and yield of soybean. Apid. 2017;49:101–111

48. Wheelock MJ, Rey KP, O'Neal ME. Defining the Insect Pollinator Community Found in Iowa Corn and Soybean Fields: Implications for Pollinator Conservation. Environ Entomol. 2016;45(5):1099-1106.

49. Santos Martínez EI, Morelli E, Galván G. Dependence of soybeans (*Glycine Max* Merril) to entomophile pollination and study of food resources of honey bees (*Apis Mellifera* L.) in contact with the crop. Agrociencia Urug. 2021;25(Suppl):e1523.

50. Wolditsadik M, Beyene T, Abi D. Investigating the Role of Honeybee (*Apis mellifera* L.) Pollination on Seed Yield of Soybean (*Glycine max* L. Merril). Am J BioSci. 2023;11(4):88-91.

51. Erickson EH. Effect of honey bees on yield of three soybean cultivars. Crop Sci. 1975;15(1):84-6.

52. Chiari WC, Toledo VAA, Ruvolo-Takasusuki MCC, Oliveira AJ, Sakaguti ES, Attencia VM, *et al*. Pollination of soybean (*Glycine max* L. Merril) by honeybees (*Apis mellifera* L.). Braz Arch Biol Technol. 2005;48(1):31-6.

53. Kengni SB, Fohouo FNT, Ngakou A. Impact of the foraging activity of *Apis mellifera* adansonii Latreille (Hymenoptera: Apidae) and *Bradyrhizobium* fertilizer on pollination and yield components of *Glycine max* L. (Fabaceae) in the field. Int J Biol Res. 2015;3(2):64-71.

54. Cooley H, Vallejo-Marín M. Buzz-Pollinated Crops: A Global Review and Meta-analysis of the Effects of Supplemental Bee Pollination in Tomato. J Econ Entomol. 2021;114(2):505-519.

55. Silva-Neto CM, Bergamini LL, Elias MAS, Moreira GL, Morais JM, Bergamini BAR, et al. High species richness of native pollinators in Brazilian tomato crops. Braz J Biol. 2016;77(3):506-513.

56. Salvarrey S, Santos E, Arbulo N, Giménez G, Invernizzi C. Characteristics of the tomato fruit (*Solanum lycopersicum*) using native bumblebees (*Bombus atratus*) as pollinators in greenhouse. Agrociencia Urug. 2020;24(1):101.

57. Rijo G, Alameda D, Barro A. Tomato (*Solanum lycopersicum*) specialized pollination is isolated from neighboring plants and pollinators. J Poll Ecol. 2022;31(4):29-38.

58. Yankit P, Rana K, Sharma HK, Thakur M, Thakur RK. Effect of Bumble Bee Pollination on Quality and Yield of Tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) Grown Under Protected Conditions. Int J Curr Microbiol App Sci. 2018;7(1):257-263.

59. Wongsa K, Duangphakdee O, Rattanawannee A. Pollination efficacy of stingless bees, *Tetragonula pagdeni* Schwarz (Apidae: Meliponini), on greenhouse tomatoes (*Solanum lycopersicum* Linnaeus). PeerJ. 2023;11:e15367.

60. Guarido GV, Hata FT, Zanutto CA, Nunes WMC. Desafios e oportunidades na adoção de polinização entomológica do tomate (*Solanum lycopersicum* L.) por abelhas bombus em fazendas verticais: uma revisão abrangente. Contrib Cienc Soc. 2024;17(7):1-22.

61. Silva-Neto CM, Ribeiro ACC, Gomes FL, Melo APC, Oliveira GM, Faquinello P, *et al.* The stingless bee mandaçaia (*Melipona quadrifasciata* Lepeletier) increases the quality of greenhouse tomatoes. J Apic Res. 2019;58(1):9-15.

62. Klein AM, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proc R Soc B. 2007;274:303-13.

63. Sáez A, Aguilar R, Ashworth L, Gleiser G, Morales CL, Traveset A, et al. Managed honeybees decrease pollination limitation in self-compatible but not in self-incompatible crops. Proc R Soc B. 2022;289(1972):20220086.

64. Bishop J, Nakagawa S. Quantifying crop pollinator dependence and its heterogeneity using multi-level meta-analysis. J Appl Ecol. 2021;58(5):1030-42.

65. Hutchinson LA, Oliver TH, Breeze TD, Greenwell MP, Powney GD, Garratt MPD. Stability of crop pollinator occurrence is influenced by bee community composition. Front Sustain Food Syst. 2022;6:943309.