



UnB

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA

**Efeito da floração massiva da soja na atração de abelhas do Cerrado do oeste da
Bahia**

Felina Kelly Marques Bulhões

Brasília/ DF

Fevereiro/2024



UnB

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA

**Efeito da floração massiva da soja na atração de abelhas do Cerrado do oeste da
Bahia**

Felina Kelly Marques Bulhões

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Zoologia.

Orientador(a): Antonio José Camillo de Aguiar

Brasília/ DF

Fevereiro /2024

**Efeito da floração massiva da soja na atração de abelhas do Cerrado do oeste da
Bahia**

Felina Kelly Marques Bulhões

Orientador Antonio José Camillo de Aguiar

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós- graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Zoologia.

Aprovada por

Antonio José Camillo de Aguiar
Presidente – UnB

Marina Regina Frizzas
Membro da banca – UnB

Luisa Carvalheiro
Membro externo- UFG

Cecillia Waichert Monteiro
Suplente-UnB

Brasília/ DF

Fevereiro/2024

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas e instituições que contribuíram para o desenvolvimento e conclusão desta dissertação.

Ao meu orientador, professor Antonio José Camillo de Aguiar, pela orientação, dedicação, paciência e apoio incansável e valiosas contribuições ao longo de toda a pesquisa. Seu conhecimento e orientação foram fundamentais para a finalização deste trabalho.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudos (edital DPG/DPO 006/2021). Ao auxílio financeiro PROAP/CAPES dado através do edital 05/2021.

Quero expressar minha gratidão aos colegas de laboratório e amigos que compartilharam ideias, forneceram feedback construtivo e ofereceram suporte moral durante os desafios enfrentados ao longo desta jornada.

Aos meus familiares, cujo apoio inabalável e encorajamento foram a fonte de minha perseverança. Cada um de vocês desempenhou um papel fundamental nesta conquista, e por isso, meu mais profundo agradecimento.

Finalmente ao meu esposo, Edvonei da Silva Zavarisi agradeço todo o seu amor, carinho, admiração, e pela presença incansável com que me apoiou ao longo do período de elaboração deste trabalho.

Que este trabalho contribua de forma significativa para o avanço do conhecimento em nossa área e inspire futuras pesquisas.

RESUMO

EFEITO DA FLORAÇÃO MASSIVA DA SOJA NA ATRAÇÃO DE ABELHAS DO CERRADO DO OESTE DA BAHIA

Felina Kelly Marques Bulhões

Orientador Antonio José Camillo de Aguiar

Resumo da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Zoologia.

As abelhas desempenham um papel crucial na economia global, seu serviço ecossistêmico prestado, contribui para a manutenção da biodiversidade e segurança alimentar. A dependência das abelhas na polinização destaca a necessidade de sua preservação para manter ecossistemas saudáveis e sistemas agrícolas produtivos. A soja, *Glycine max (L.) Merr.*, é originária do leste da Ásia, tendo uma excelente adaptação para o seu cultivo ao redor do mundo, é uma importante fonte de alimentos para humanos e animais, com as mais diversas aplicabilidades. No entanto, este estudo ressalta a potencial contribuição da polinização por abelhas para a produção de grãos de soja no oeste da Bahia. Apesar do Cerrado ser a savana mais rica do mundo, este ecossistema está sujeito a uma elevada taxa de desmatamento para expansão agrícola, especialmente para a cultura da soja. Essa dissertação está organizada em introdução geral, e o manuscrito submetido para publicação. No estudo experimental apresentado no manuscrito, foi quantificado sistematicamente a diversidade de abelhas nas lavouras de soja no município de Luis Eduardo Magalhães, oeste da Bahia uma das maiores áreas agrícolas do Brasil. Investigamos a diferença de riqueza e abundância de abelhas entre áreas naturais e plantações de soja, e a distribuição distinta de abelhas relacionadas à borda das lavouras e áreas naturais nas distâncias de 10, 50, 250 e 500 metros. Dez transectos foram amostrados com armadilhas coloridas de queda - *pan traps*, durante a

fase de floração da soja. A floração sincronizada em um curto período leva a oferta em massa de flores de soja que atrai uma comunidade de abelhas das áreas circundantes representada por 53 espécies de abelhas. Esta floração leva a um forte efeito de transposição das abelhas para estas áreas, levando a uma diferença maior da riqueza nas áreas naturais, com maior abundância de abelhas nas áreas de cultivo. Foi observado que as abelhas têm maior abundância na área de cultivo até a distância de 50 metros, e nas distâncias maiores de 250 e 500 metros a abundância e riqueza já é menor. Nas áreas naturais estas diferenças de distância não variam. *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 e outras três espécies de abelhas silvestres representam mais de 50% das abelhas nas lavouras de soja, e outras 49 espécies de abelhas nativas representam os restantes potenciais polinizadores da soja. Nossos dados sugerem uma alta atração de abelhas sobre as lavouras de soja durante a fase de floração e um potencial serviço ecossistêmico de polinização de áreas naturais como reservas legais.

Palavras-chave: Polinização, Serviços ecossistêmicos, Biodiversidade, Matopiba, Agricultura, Paisagem agrícola.

Brasília/ DF

Fevereiro/2024

ABSTRACT

EFFECT OF SOYBEAN MASS INFLUENCE ON BEE ATTRACTION IN THE CERRADO OF WESTERN BAHIA

Felina Kelly Marques Bulhões

Antonio José Camillo de Aguiar

Abstract of the Master's Dissertation presented to the Postgraduate Program in Zoology, Institute of Biological Sciences, University of Brasília, as part of the necessary requirements to obtain the title of Master in Zoology.

Bees play a crucial role in the global economy; their ecosystem service contributes to maintaining biodiversity and food security. The dependence of bees on pollination underscores the need for their preservation to sustain healthy ecosystems and productive agricultural systems. Soybean (*Glycine max* (L.) Merr), originating from East Asia, has excellent adaptability for cultivation worldwide, serving as a vital food source for humans and animals with diverse applications. However, this study emphasizes the potential contribution of bee pollination to soybean grain production in western Bahia, Brazil. Despite the Cerrado being the world's richest savanna, it faces high deforestation rates for agricultural expansion, particularly soybean cultivation. This dissertation is organized into a general introduction and a manuscript submitted for publication. In the experimental study presented, we systematically quantified bee diversity in soybean fields in Luis Eduardo Magalhães, one of Brazil's largest agricultural areas. We investigated differences in bee richness and abundance between natural areas and soybean plantations, considering the distinct distribution of bees related to field edges and natural areas at distances of 10, 50, 250, and 500 meters. Ten transects were sampled with

colored pan traps during the soybean flowering phase. Synchronized flowering results in a mass supply of soybean flowers attracting a bee community from surrounding areas, represented by 53 bee species. This flowering creates a strong spillover effect of bees into these areas, resulting in greater richness differences in natural areas, with higher bee abundance in cultivated areas. Bees were observed to have higher abundance within the cultivation area up to a distance of 50 meters, while at greater distances of 250 and 500 meters, abundance and richness decreased. In natural areas, these distance differences were not observed. *Apis mellifera* Linnaeus, 1758, and three other wild bee species represent over 50% of bees in soybean fields, with 49 native bee species serving as potential soybean pollinators. Our data suggest high bee attraction to soybean fields during flowering and a potential ecosystem service of pollination for natural areas as legal reserves

Keywords: Pollination, Ecosystem services, Biodiversity, Matopiba, Agriculture, Agricultural landscape.

Brasília/ DF

Fevereiro/2024

INTRODUÇÃO GERAL

O aumento contínuo na demanda global por alimentos ressalta a necessidade premente de investimentos em práticas agrícolas mais sustentáveis, com o objetivo de mitigar os impactos ambientais associados (Ferreira et al., 2022). Essa busca por sustentabilidade requer a implementação de estratégias que harmonizem a produção agrícola com boas práticas (Aizen et al., 2009; Ferreira et al., 2022; Klein et al., 2007). Enfrentar o desafio da segurança alimentar, ao mesmo tempo em que se busca reduzir os impactos ambientais da agricultura em larga escala, emerge como um dos principais desafios do século XXI (Foley et al., 2011).

Em 2023, o Brasil consolidou sua posição como líder mundial na produção de soja na safra 22/23, alcançando 43,8 milhões de hectares e uma colheita de 154,8 milhões de toneladas (Brasil, 2023). A região oeste da Bahia destaca-se nacionalmente desde o final dos anos 1970, com um notável crescimento de 440% na área cultivada entre 1990 e 2018, sendo reconhecida como uma das fronteiras agrícolas mais dinâmicas do mundo, caracterizada por expansão e intensificação da atividade agrícola (Filho & Filho, 2012), e desde então houve um significativo aumento na área cultivada, com um crescimento impressionante entre 1990 e 2018 (Chartuni Mantovani et al., 2019). E a região, conhecida como Matopiba (acrônimo formado pelas iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), tem sido caracterizada pelo rápido crescimento da produção agrícola e pelo aumento da área cultivada, sendo estabelecida como uma nova fronteira agrícola (Araújo et al., 2019; Calmon, 2022).

A produção de soja na região comprovou sua posição de destaque como a principal cultura na região oeste da Bahia, ao atingir uma marca impressionante de mais de 7 milhões de toneladas produzidas durante a safra 2022/23 (AIBA, 2022). Várias razões impulsionaram essa expansão, incluindo terras férteis de baixo custo, melhorias na infraestrutura logística (estradas e ferrovias) e avanços em tecnologias agrícolas, como sementes melhoradas e maquinaria moderna (Araújo et al., 2019).

Embora a expansão das áreas agrícolas com transformação de áreas naturais ou áreas de pastagens seja amplamente considerada a solução mais imediata para enfrentar os desafios na produção de alimentos, é essencial reconhecer que o serviço

ecossistêmico prestado por polinizadores é um dos mais importantes mecanismos para aumento de produção e este serviço enfrenta ameaças significativas devido a fatores como o uso de agrotóxicos, práticas de manejo da terra, mudanças climáticas e perda de habitat associada ao avanço agrícola (Ferreira et al., 2022).

Essa expansão de áreas de plantio, especialmente em países tropicais, é uma estratégia primária para aumentar a produção mundial de alimentos (Zalles et al., 2021). Apesar dos benefícios econômicos que acompanham essa expansão, é crucial destacar os impactos ambientais substanciais, incluindo desmatamento, o uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes, além de ameaças à qualidade dos recursos hídricos e à biodiversidade (Calmon, 2022).

A legislação brasileira prevê a preservação de 20% da cobertura vegetal nativa dentro de suas propriedades no bioma Cerrado (Brasil, 2012). Consequentemente, as áreas de maior produtividade agrícola assumiram uma configuração paisagística diversificada, composta por fragmentos remanescentes de vegetação nativa que estão cercados por extensas áreas destinadas à agricultura (Simoes et al., 2020). No entanto, a estrutura da comunidade de polinizadores naturais em escala paisagística ainda é pouco explorada.

A preservação de populações de polinizadores nativos em habitats naturais adjacentes às áreas agrícolas desempenha um papel crucial na promoção da polinização e, consequentemente, no aumento da produtividade das culturas (Halinski et al., 2020). Diversos estudos têm ressaltado a importância desse fenômeno, por exemplo, pesquisa realizada por Gazzoni & Paz Barateiro (2023), demonstrou um aumento na produtividade média quando as abelhas da espécie *A. mellifera* estão inseridas nessas áreas de cultivo de soja. Porém, esse aumento na produtividade só será efetivo com a presença de habitats naturais adjacentes a campos agrícolas para assim promover a diversidade e abundância de polinizadores, resultando em maior rendimento das culturas (Ferreira et al., 2022).

A pesquisa proposta tem como objetivo preencher uma lacuna no estudo da ecologia das abelhas, especificamente no bioma Cerrado, uma região que enfrenta grandes desafios decorrentes do crescimento das práticas agrícolas intensivas (Zalles et al., 2021). O entendimento da estrutura da comunidade de abelhas nesse contexto é de

extrema importância, uma vez que esses polinizadores desempenham um papel vital na interação planta-inseto, especialmente na produção de culturas agrícolas como a soja.

Essa dissertação está organizada em introdução geral, e o manuscrito submetido para publicação.

Abelhas e sua relevância como polinizadoras de áreas agrícolas

A intensificação das práticas agrícolas tem desencadeado impactos significativos nos serviços ecossistêmicos de polinização (Klein et al., 2007). A fragmentação e destruição de habitats naturais resultam na escassez de recursos florais essenciais para os polinizadores, comprometendo seu papel vital na polinização de culturas agrícolas (Barda et al., 2023). Em um cenário global, cerca de 75% das culturas alimentares (Klein et al., 2007) e 90% das plantas com flores dependem da polinização animal para reprodução bem sucedida, tornando esse serviço ecossistêmico crucial para a segurança alimentar e a biodiversidade (Barda et al., 2023; Ferreira et al., 2022).

Apesar da importância da polinização, algumas plantas têm a capacidade de realizar autopolinização, especialmente na presença de flores autocompatíveis, o que confere resiliência a ambientes alterados pelas práticas agrícolas intensivas (Souza et al., 2023). No entanto, a propagação de organismos polinizadores entre habitats agrícolas e naturais é essencial para o funcionamento eficiente de processos ecológicos, como polinização, predação e dispersão de sementes (Ferreiras et al., 2022; González-Varo & Vilà, 2017). A transferência sazonal de polinizadores entre habitats agrícolas e naturais, especialmente após eventos fenológicos como floração, frutificação e colheita, desempenha um papel crucial na manutenção da biodiversidade e na funcionalidade dos ecossistemas (González-Varo & Vilà, 2017).

A expansão das monoculturas e dos monocultivos florestais (MFCs) é uma tendência comum na paisagem agrícola, mas essa prática pode levar à diluição da densidade de polinizadores, impactando negativamente os serviços de polinização (Holzschuh et al., 2016). No entanto, permanece uma incógnita se os MFCs realmente promovem o crescimento populacional a longo prazo dos polinizadores ou se apenas

atraem temporariamente esses importantes agentes polinizadores para áreas específicas (Holzschuh et al., 2016).

Apis mellifera, é reconhecida como o animal domesticado mais amplamente distribuído e abundante (Ferreira et al., 2022; Quinlan et al., 2021). Além de sua contribuição essencial para a produção de mel, essa espécie, em particular, está se tornando cada vez mais crucial na polinização de culturas agrícolas, como a soja, aumentando a produtividade e a qualidade dos grãos (Garibaldi et al., 2021; Gazzoni & Paz Barateiro, 2023; González-Varo & Vilà, 2017).

No entanto, o declínio alarmante das populações de polinizadores (Beringer et al., 2019), acende sinalizadores críticos sobre os serviços de polinização para culturas agrícolas e plantas selvagens (Holzschuh et al., 2016). A perda de diversidade e abundância de polinizadores selvagens, que desempenham um papel fundamental na polinização de plantas nativas e em ecossistemas naturais, representa uma ameaça para a biodiversidade desses ambientes (Ferreira et al., 2022). O declínio dos polinizadores selvagens intensifica a dependência de polinizadores domésticos, como *A. mellifera* (Klein et al., 2007), destacando a vulnerabilidade dos sistemas agrícolas e naturais a perturbações nas comunidades de polinizadores.

A agricultura é intrinsecamente dependente do processo de polinização para alcançar níveis elevados de produtividade e garantir a qualidade dos frutos produzidos (González-Chaves et al., 2022). Uma prática comum nesse contexto é o uso generalizado de colmeias de abelhas melíferas, desempenhando um papel crucial na polinização de diversas culturas (Barda et al., 2023). Entretanto, essa dependência considerável em uma única espécie levanta preocupações, ressaltando a vulnerabilidade do sistema agrícola a eventos adversos que possam afetar negativamente as populações de abelhas melíferas.

Os insetos, em geral, desempenham funções fundamentais em processos ecológicos e na provisão de serviços ecossistêmicos essenciais para a sustentabilidade ambiental (Barda et al., 2023). As abelhas, em particular, têm um papel vital na polinização, sendo indispensáveis para culturas agrícolas que dependem da visita desses insetos, como é o caso da soja, embora essa dependência seja considerada moderada em comparação com outras culturas (Giannini et al., 2015; Souza et al., 2023). O

equilíbrio delicado dessa relação destaca a importância de estratégias de manejo que promovam a diversidade de polinizadores e reduzam a dependência exclusiva de uma única espécie.

Expandir e conservar as áreas de habitat adequado para a nidificação para abelhas selvagens em campos de soja não apenas potencializa a produção de grãos, mas também estabelece e mantém habitats de polinizadores nas paisagens de soja, proporcionando benefícios adicionais, como a proteção do solo, purificação de água e ar, controle de pragas (Garibaldi et al., 2021). Contudo, a movimentação de abelhas de áreas de mata preservadas para áreas de monocultura após o florescimento das culturas destaca a interconexão complexa entre as práticas agrícolas e os ecossistemas naturais (Ferreira et al., 2022), durante esse período, desempenham um papel crucial ao atrair abelhas, atuando como verdadeiros ímãs que temporariamente diluem suas densidades em manchas florestais próximas (González-Varo & Vilà, 2017).

Mesmo em plantações que, a princípio, não dependem diretamente da polinização, como o caso da soja, a inclusão de ambientes propícios aos polinizadores pode promover benefícios à comunidade desses agentes e resultar em aprimoramentos nas métricas de produção, já que as abelhas coletam pólen de soja, indicando uma interação ativa com a cultura (Levenson et al., 2022).

As abelhas, com destaque para a *A. mellifera*, emergem como os polinizadores mais frequentes da soja, envolvendo-se em intenso forrageamento em busca de néctar e pólen (Souza et al., 2023), esses insetos desempenham um papel vital na polinização da soja, contribuindo significativamente para o processo reprodutivo dessa cultura. Sua presença impulsiona a produtividade da soja, realçando a importância fundamental dos polinizadores na formação de sementes e vagens (Gazzoni & Paz Barateiro, 2023; Souza et al., 2023;). Mesmo sendo a soja uma cultura autógama (Roubik, 1995), a influência positiva das abelhas, como agentes polinizadores, na produtividade destaca a interação benéfica entre a cultura e esses insetos (Souza et al., 2023).

Apis mellifera foi observada em alguns estudos como a principal visitante floral na soja, contribuindo na promoção da polinização cruzada e, conseqüentemente, no desenvolvimento reprodutivo da planta (Gazzoni & Paz Barateiro, 2023; Souza et al.,

2023). Entretanto, é crucial salientar que, apesar dessa contribuição, essa prática não substitui completamente o papel de polinizadores selvagens (Holzschuh et al., 2016).

Os polinizadores selvagens contribuem para a polinização de culturas, desempenhando papéis específicos na transferência de pólen entre flores (Holzschuh et al., 2016). Compreender a ecologia e a dinâmica desses polinizadores nativos em ambientes específicos é crucial para desenvolver estratégias de manejo que promovam a coexistência harmoniosa entre polinizadores, garantindo assim a sustentabilidade da produção de alimentos (Barda et al., 2023).

O Cerrado e seu potencial serviço ecossistêmico de na polinização de áreas agrícolas

O bioma Cerrado, classificado como o segundo maior em extensão territorial no Brasil, predomina na região central do país e se estende em pequenas áreas na Caatinga, Mata Atlântica e Floresta Amazônica. Internamente, o Cerrado se divide em três principais grupos fitofisionômicos: formações savânicas (como cerrado stricto sensu e cerrado ralo), campestres (incluindo campo sujo, campo-cerrado e campo limpo) e florestais (como cerradão e mata seca) (Ribeiro & Walter, 2008).

O Cerrado é reconhecido como a savana mais rica do mundo (Castro et al., 1999). No entanto, a transformação acelerada do Cerrado é evidente, com mais de 50% de sua extensão original convertida em pastagens, cultivos agrícolas e outros usos ao longo dos últimos 35 anos. Esse processo, impulsionado principalmente pelo avanço do desmatamento, especialmente devido à expansão da monocultura de soja no oeste da Bahia, tem impactos na biodiversidade (Klink & Machado, 2005), esse fenômeno foi impulsionado por fatores-chave, incluindo infraestrutura robusta, preços de terras acessíveis e condições climáticas favoráveis (Araújo et al., 2019).

As commodities mais significativas em termos de áreas de plantio no Cerrado são o café, concentrado no centro-sul do Cerrado, e a soja, com maiores áreas de produção no oeste da Bahia, centro-sul de Goiás, e centro-oeste do Mato Grosso (Marco & Coelho, 2004). Ambas as commodities, café e soja, são beneficiadas pela polinização

cruzada melitófila, indicando que a relação de alta riqueza de espécies de abelhas no cerrado e áreas agrícolas pode ser extremamente benéfica.

Nas últimas duas décadas, a região do Matopiba testemunhou uma expansão no cultivo de soja, especialmente na mesorregião do Extremo Oeste Baiano (Araújo et al., 2019; Calmon, 2022). Esse crescimento expressivo na produção de soja destaca a adaptabilidade e a produtividade dessa cultura na região, consolidando o Matopiba como um importante polo agrícola (Araújo et al., 2019).

Apesar da intensa pressão do agronegócio e da redução da biodiversidade no Cerrado devido à ação humana, existem ainda remanescentes de vegetação natural que desempenham um papel crucial na preservação da diversidade biológica regional que atuam como refúgio para a fauna local (Grandolfo et al., 2013).

As áreas de Cerrado íntegro são recursos potenciais para conservação e incremento da produção nas áreas agrícolas através do serviço de polinização (Jauker et al., 2009), como a polinização de cultura de soja e do café (Jauker et al., 2009; Luo et al., 2020). Porém, a dispersão desses polinizadores para as áreas de agricultura dependerá da qualidade, forma e distanciados refúgios naturais próximos as áreas de cultivo, que darão subsídios de nidificação e forrageamento para diferentes espécies de abelhas (Jauker et al., 2009; Forrest et al., 2015).

Biologia Floral e importância econômica da Soja (*Glycine max* (L.) Merrill)

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill, 1917), é uma cultura amplamente cultivada (Gazzoni & Dall'Agnol, 2018; Leff et al., 2004). Tornou-se uma das commodities agrícolas mais importantes globalmente (FAOSTAT (FAO, 2024)), impulsionada pelo seu uso em rações animais, óleo de cozinha e produtos alimentares (Gazzoni & Dall'Agnol, 2018), sua produção só vem crescendo ao longo do tempo.

Essa espécie apresenta reprodução autógama, com flores autopolinizadoras que sincronizam a receptividade do estigma e a viabilidade do pólen para obter rendimentos mais elevados (Roubik, 1995). Porém, discussões recentes têm questionado o papel da polinização animal nessa cultura (Gazzoni & Paz Barateiro, 2023; Souza et al., 2023). Essa discussão é motivada, em parte, pelas diversas características da soja (Gazzoni,

2017), que se assemelham a uma planta polinizada por animais e os benefícios ofertados por esse serviço ecossistêmico (Aizen et al., 2008). Apesar das alegações de autofecundação total (Roubik, 1995), a soja se beneficia da polinização por insetos, como as abelhas, aumentando a produção de sementes (Chiari et al., 2008) e na produtividade e qualidade dos grãos (Evans et al., 2023, Gazzoni & Paz Barateiro, 2023).

A morfologia floral da soja apresenta grande variabilidade no número de flores por planta, onde cada uma possui nove estames diadelfos que se fundem pelas anteras e são posicionados sobre o estigma após a antese; o décimo estame está localizado opostamente aos estames fundidos. Os nectários, discoides e vascularizados por ramos do floema, têm um diâmetro de 0,63 a 0,73 mm, com estômatos próximos às fendas dorsais, além de apresentarem nectários e guias de néctar (Erickson & Garment, 1979).

Com a presença de um alto número de flores por planta durante o tempo de floração, os cultivos de soja atuam como um poderoso atrativo para as abelhas (González-Varo & Vilà, 2017). Além de possuírem guias de néctar e canais que atraem as abelhas para um contato próximo facilitando e viabilizando a polinização (Erickson & Garment, 1979; Gil & O'Neal, 2015).

Manuscrito formatado segundo as normas da revista Journal of Apicultural Research

Spillover of bees from natural areas to mass-flowering soybean crops on Cerrado

Felina Kelly Marques Bulhões, (<https://orcid.org/0000-0002-0212-7908>)

Universidade de Brasília, Departamento de Zoologia, Programa de Pós-graduação em Zoologia, Brasília, DF, Brazil.

Thiago Gonçalves-Souza ([orcid https://orcid.org/0000-0001-8471-7479](https://orcid.org/0000-0001-8471-7479))

School for Environment and Sustainability, Institute for Global Change Biology, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA

Antonio J. C. Aguiar ([orcid https://orcid.org/0000-0002-1319-6431](https://orcid.org/0000-0002-1319-6431))

Universidade de Brasília, Departamento de Zoologia, Brasília, DF, Brazil.

Correspondence

Felina Kelly Marques Bulhões, Departamento de Zoologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brazil, Email: felinabulhoes@gmail.com

Abstract

1. The Cerrado is the richest savanna of the World, with a potential ecosystem service of pollination for numerous crops like coffee and soybean. Despite soybeans, are primarily self-pollinating, monitoring bee populations through continuous surveys, and promoting bee attraction through a heterogeneity landscape with natural areas around soybean fields must ensure long-term benefits for both crops and pollinators.

2. Here, we surveyed and quantified the bee diversity on soybean crops in Western Bahia, one of the larger farming areas of Brazil. We investigated the difference of richness and abundance of bees between natural areas and soybean plantations, and the distinct distribution of bees related to the border of crops and natural areas. Ten areas were sampled with pan traps during the flowering stage of crops.

3. There was observed a high abundance and richness of bees in the cultivation areas during the soybean flowering stage, with greater attraction near the edge up to a distance of 50 meters. At greater distances such as 250 m and 500 m from the edge, the richness and abundance were lower compared to the edge up to 50 m and the natural areas.

4. *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 and other three wild bee species represent more than 50% of the bees on the soybean crops, and other 49 native bee species represent the remaining potential soybean pollinators.

5. Our data suggests a high attraction of bees over soybean crops during the blooming stage, and a potential pollination ecosystem service of natural areas like legal reserves.

KEYWORDS

Pollination, Ecosystem Services, Biodiversity, Matopiba, Agriculture

INTRODUCTION

The global decline in the bee species is an urgent concern due to food security issues (Decourtye et al., 2019; Klein et al., 2007). It is estimated that entomophilous pollination contributes to the global economy in a range of 153 billion euros, representing 9.5% of the total economic value of agricultural production directly used for human consumption (Khalifa et al., 2021). Some varieties of agricultural crops, such as soybeans, *Glycine max* (L.) Merr, are widely used worldwide and also benefit from this service (Gazzoni & Paz Barateiro, 2023).

Despite being considered a self-pollinating species, soybean benefit from entomophilous pollination, with higher increase in grain production compared to self pollination (Chiari et al., 2008; Monasterolo et al., 2015; Evans et al., 2023; Gazzoni & Paz Barateiro 2023). These results challenge the traditional view of soybeans' self-compatibility, highlighting the valuable contribution of entomophilous pollination, especially by *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 - honeybees, to optimize soybean grain production. This was evidenced by the average 17% increase in the weight of fruits from openly pollinated flowers compared to treatments of automatic self-pollination and manual cross-pollination (Evans et al., 2023). These findings not only contribute to redefining assumptions about soybean pollinator independence but also provide valuable guidance for management of bees on crops.

Soybeans represent a mass-flowering crop, characterized by rapid and massive growth that proves rewarding for the bee community in the surrounding areas, nestled within a landscape of natural remnants (Monasterolo et al., 2015, Montero-Castaño et al., 2016). By emphasizing the biological richness of the pollinators found in these fields, it is suggested that the mass flowering crops exert a strong attractiveness, not only in the immediate vicinity but also in more distant areas. This phenomenon has significant implications for the composition and abundance of bees in natural ecosystems, suggesting that the crops may attract the bees from nearby and distant natural areas, affecting the composition and abundance of bees in natural ecosystems.

The Cerrado is a hotspot of biodiversity with a strong potential to ecosystem services for agricultural production, like the provision of pollinators for commodities like coffee and soybean. The increase of production by the natural pollination provided by natural areas is specially reported to coffee (Marco & Coelho, 2004). However the deforestation and the transformation of heterogeneous natural areas to homogeneous landscapes composed only by monocultures is the main tactics employed to increase agricultural production.

Understanding the intricate dynamics between the honey bees, wild bees, and agricultural production is crucial for making well-informed decisions in pollination management of crops, specially soybeans. Our research is dedicated to improving soybean pollination research by investigating the distribution of bee species among crops and natural areas. In our research, we systematically quantified the spillover effect of bees, including both native bees and exotic *A. mellifera*, across different distances from soybean plantations and natural Cerrado areas. Utilizing standardized sampling methods, we evaluated the roles of various wild bee groups at different distances from the edges of soybean plantations within a landscape. We investigated the difference of richness and abundance of bees between natural areas and soybean plantations, the distinct distribution of bees related to the border of crops and natural areas, *A. mellifera* and wild bees are very distinct distributed on natural areas and crops, exploring potential differences in the effects of *A. mellifera* and native bees on soybean pollination.

METHODS

Study sites

The present study was carried out in western Bahia (Brazil), a large area of the Matopiba region, one of the most extensively cultivated landscapes with soybean crops in Brazil (Araujo et al., 2019; FAOSTAT (FAO, 2019), <http://www.fao.org/faostat>). The study area is located on a flat plateau, with a homogeneous landscape of mechanized annual monocultures (Gonçalves & Chang, 2017). This region presents intensely cultivated agricultural landscapes, forming a large mosaic of landscapes composed of remnants of native vegetation, which comprises areas protected by law, surrounded by extensive agricultural areas (Simões et al., 2020). There are few studies on pollinating insects in their crops, highlighting a gap in knowledge in this regard.

Ten transects were classified in the agricultural matrix with scattered fragments of natural Cerrado (Fig. 1): (1) -11.823711S, -45.915353W; (2) -11.820848S, -45.919295W; (3) -11.817901S, -45.923214W; (4) -11.810641S, -45.926200W; (5) -11.75560S, -45.881335W; (6) -11.753238S, -45.885453W; (7) -11.751063S, -45.889817W; (8) -11.781905S, -45.932413W; (9) -11.786633S, -45.935805; (10) -11.798559S, -45.932710W. Each transect crosses the boundary of 500 meters from the natural areas to 500 meters inside the soybean plantation.

The transects were placed with at least 700 meters of distance between each other. We defined these distances because most bees in a heterogeneous community have a flight range that does not exceed 600 meters in proportion (Gathmann & Tscharrntke 2002, Zurbuchen et al. 2010).

We used traps painted with UV yellow and blue colors (250 ml cups; paint label: Colorgin Luminoso), as an efficient and highly standardized method for sampling bees at each location simultaneously (Gill & O'neal, 2015; Roulston et al. al., 2007). In each transect, 32 pan traps were installed, 16 in yellow and 16 in blue, in two parallel lines, arranged in pairs in a straight line from the edge to the interior of the fragment at distances of 10 m, 50 m, 250 m and 500 m for both the Cerrado area and the cultivation area (Fig. 1). Each trap was fixed to a support made from a wooden rod and fixed to the ground in an open area without permanent shade. They were placed at approximately the height of crop flowers, ca. 1 meter, and at the height of grasses in natural areas, ca. 40 cm high. The traps remained in the field for 15 days and the collected material was removed every five days, where the material from each trap was organized individually and labeled.

Pan traps are disposable plastic containers, measuring 7 cm in height x 5.3 cm in diameter (“mouth”) and 3 cm in diameter (bottom), with a capacity of 80 ml. These specific colors were chosen because they are within the visible spectrum of bees (Moreira et al., 2016). The cups are filled with 60 ml of a mixture of water and propylene glycol in a 1:1 ratio, along with 3-5 drops of colorless detergent to break surface tension.

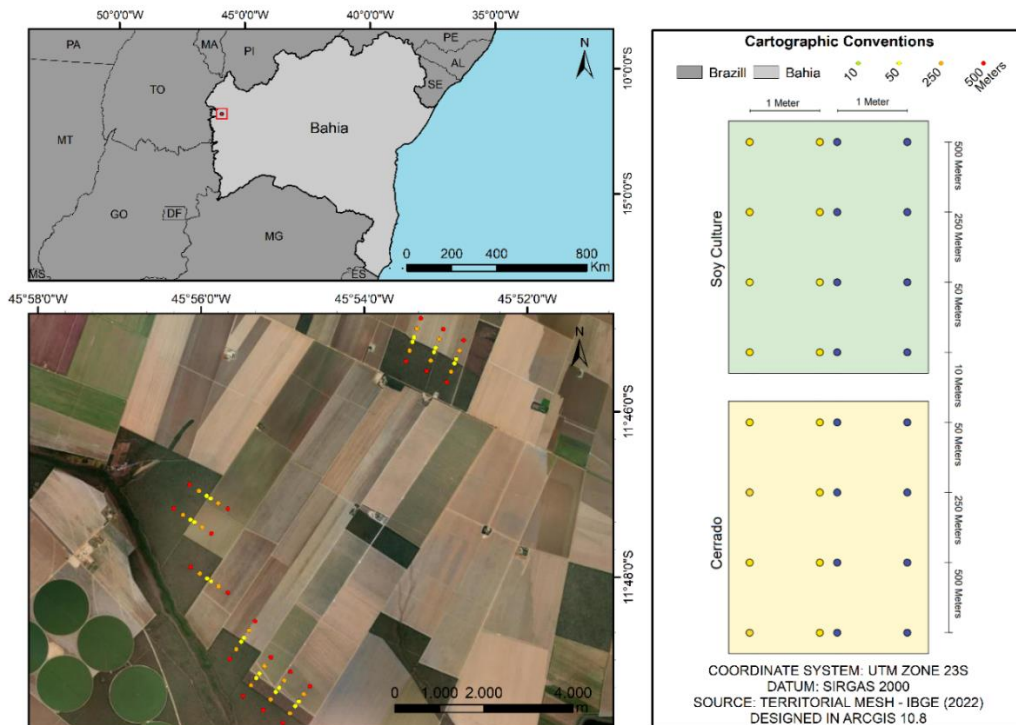


FIGURE 1 Location and distribution of traps at bee sampling points in the agricultural matrix and Cerrado area (close: 10 and 50 m; far: 250 and 500 m).

The traps were set up on December 9, 2021 and the bees were collected during three consecutive expeditions with an interval of 5 days (December 14, 19 and 24, 2021). The choice of this month was based on the post-rainy period and the soybean flowering period in the areas, totaling 15 days in which the traps remained in the field. The soybean variety planted in the areas was Brasmax focus Ipro – 74177 RSF, which had a short flowering period, around 30 days. Subsequently, the bees were sorted, mounted on entomological pins and sent to the Bee Laboratory of the University of Brasília, where they were deposited in the reference collection of the Entomological Collection of the Department of Zoology of the University of Brasília. The classification used in this study follows the proposal by Michener (2007), with small modifications by Moure et al. (2012).

Data analysis

We calculated the difference between richness and abundance within soybean crops and the cerrado natural areas during the soybean flowering period using Generalized Linear Mixed Models (GLMMs, 'glmmTMB' function from the glmmTMB package, Brooks et al., 2017). We used sample within sampling location as random structure.' This approach allowed us to capture the variation associated with different sampling locations, considering micro-habitat as the smallest sampling unit. The models were fitted using the 'glmmTMB' function, with a Poisson error distribution (considering our response variables are count data) and a log-link function. We tested the assumptions of residual normality for each model and overdispersion using the DHARMA package (HARTIG; Hartig, 2017). Additionally, we did not detect spatial dependence in our models. This test was performed using Moran - function from the ape package (Paradis et al., 2019). We checked for distinct groups between soybean crops and cerrado areas: are there completely distinct groups between soybean and cerrado areas, or between distances from cerrado to soybean cultivation areas?; or between distances - using Bray-Curtis distance for abundance data and Jaccard for presence and absence from cerrado areas to soybean crops using a PERMANOVA, with the 'adonis2' function from the vegan package (Oksanen et al., 2019). We represented the existence of possible groups in bee composition using a PCoA - using the first two axes generated by a Principal Coordinates Analysis. We also tested if there is a significant difference in the abundance of *A. mellifera* records in soybean cultivation and within the Cerrado matrix: is there a significant difference in the abundance of *A. mellifera* records compared to all other bee species at different distances in soybean cultivation?. For this approach, we used Generalized Linear Mixed Models (GLMMs, 'glmmTMB' function from the glmmTMB package, Brooks et al., 2017), with random variables 'sample/sampling location,' using the negative binomial distribution (for count data with overdispersion). Finally, we also analyzed if there is a difference in the abundance of *A. mellifera* and native species (average): is the abundance of *A. mellifera* higher compared to the other abundances of native bee species and between the cerrado and soybean crops using Generalized Linear Mixed Models (GLMMs, 'glmmTMB,' Brooks et al., 2017). Richness accumulation curves were also calculated (for different locations and distances), in order to determine the sampling effort

carried out in our collections (with and without *Apis mellifera*). To do this, we used the iNEXT function from the iNEXT package (HSIEH et al., 2016).

RESULTS

A total of 755 bees from 68 species were collected throughout the study. In the soybean cultivation area, 455 bees from 49 species were collected, while in the adjacent Cerrado areas, 300 bees from 58 species were collected (Table 1). Species accumulation curves approached an asymptote (Fig. SP1), indicating sufficient sampling effort for the entire study. *Apis mellifera* represented 16.2% of all bees collected, and 22.6% of the bees collected on the soybean crop.

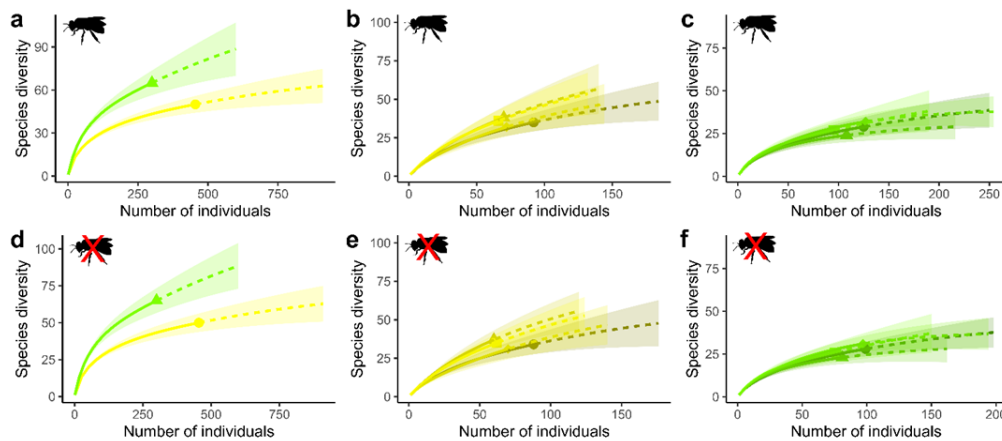


FIGURE SP1. Accumulation curves representing the estimated richness (Chao1) of bees among Cerrado and soybean plantations. a,b,c: curve including *A. mellifera*; def: curve excluding *A. mellifera*. Green - Cerrado area; Yellow - soybean planting area.

The bee community sampled is represented by solitary, parasocial and social species, including the exotic *Apis mellifera*. *Apis mellifera* and the following five native bee species represents more than fifty percent of the total of bees collected: *Trigona spinipes* (Fabricius, 1793) (13.6%), *Exomalopsis auropilosa* Spinola, 1853 (7.1%), *Paratrigona lineata* (Lepeletier, 1836) (6.0%), *Peponapis fervens* (Smith, 1879) (4.9%), and *Epicharis bicolor* Smith, 1854 (2.9%). On the soybean crops, *A. mellifera* and only three native bee species, *T. spinipes*, *E. auropilosa* and *P. lineata*, represent 53.1% of bees, while the remaining 46.9% is represented by 45 native bee species. In the soybean areas, ten species occurring exclusively in these areas were recorded, for the Cerrado areas, 19 species were recorded and 39 occurring between the two areas.

BEES	Soybean areas	Natural areas	Total
------	---------------	---------------	-------

Andrenidae

<i>Acamptopoeum</i> cf. <i>prinii</i> (Holmberg, 1884)	17	6	23
<i>Oxaea</i> cf. <i>flavescens</i> Klug, 1807	6	3	9
<i>Cephalurgus anomalus</i> Moure & Lucas de Oliveira, 1962		1	1

Apidae

<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	103	20	123
<i>Bombus</i> (<i>Fervidobombus</i>) <i>brevivillus</i> Franklin, 1913		1	1
<i>Centris aenea</i> Lepeletier, 1841		1	1
<i>Centris nitens</i> Lepeletier, 1841	4		4
<i>Centris tarsata</i> Smith, 1874	1		1
<i>Epicharis bicolor</i> Smith, 1854	14	8	22
<i>Epicharis picta</i> (Smith, 1874)		1	1
<i>Epicharis rustica</i> (Olivier, 1789)		1	1
<i>Ceratina</i> (<i>Ceratinula</i>) <i>minima</i> Friese, 1908		4	4
<i>Ceratina</i> (<i>Crewella</i>) sp.	4	9	13
<i>Alepidosceles</i> sp.		1	1
<i>Ancyloscelis</i> sp.	3	6	9
<i>Mesoplia rufipes</i> (Perty, 1833)		1	1
<i>Florilegus festivus</i> (Smith, 1854)	18	3	21
<i>Melissodes nigroaenea</i> (Smith, 1854)	7	1	8
<i>Melissodes sexcincta</i> (Lepeletier, 1841)	12	1	13
<i>Melissoptila pubescens</i> (Smith, 1879)	7	10	17
<i>Peponapis fervens</i> (Smith, 1879)	16	21	37
<i>Thygater analis</i> (Lepeletier, 1841)	3	1	4
<i>Eufriesea auriceps</i> (Friese, 1899)	1		1
<i>Euglossa</i> (<i>Euglossa</i>) <i>fimbriata</i> Rebelo & Moure 1995	4	9	13
<i>Euglossa</i> (<i>Euglossa</i>) <i>securigera</i> Dressler, 1982	1		1
<i>Euglossa cordata</i> (Linnaeus, 1758)		1	1
<i>Euglossa melanotricha</i> Moure, 1967	1	9	10
<i>Euglossa</i> sp. 1	1	1	2
<i>Euglossa</i> sp. 2	2	2	4
<i>Eulaema nigrita</i> Lepeletier, 1841	9	5	14
<i>Exomalopsis</i> (<i>Phanomalopsis</i>) <i>perikalles</i> Silveira & Almeida, 2009	2		2
<i>Exomalopsis analis</i> Spinola, 1853	9	1	10
<i>Exomalopsis auropilosa</i> Spinola, 1853	41	13	54
<i>Exomalopsis fulvofasciata</i> Smith, 1879	9	7	16
<i>Exomalopsis subtilis</i> Timberlake, 1980	17	2	19
<i>Paratrigona lineata</i> (Lepeletier, 1836)	33	13	46
<i>Trigona spinipes</i> (Fabricius, 1793)	65	38	103
<i>Paratetrapedia punctata</i> Aguiar & Melo, 2011	1		1

<i>Tropidopedia punctifrons</i> (Smith, 1879)	3		3
Coletidae			
<i>Ptillogossa</i> sp.	1	1	2
<i>Sarocolletes</i> sp.	1		1
Halictidae			
<i>Augochloropsis affs.cupreola</i> (Cockerell, 1900)	3	4	7
<i>Augochlora</i> (<i>Augochlora</i>) <i>nausicaa</i> (Schrottky, 1909)		1	1
<i>Augochlora</i> (<i>Augochlora</i>) <i>scabrata</i> Lepeco & Gonçalves, 2020	2	4	6
<i>Augochlora aurinasis</i> (Vachal, 1911)		11	11
<i>Augochlora braziliensis</i> (Vachal, 1911)		1	1
<i>Augochlora caerulior</i> Cockerell, 1900		1	1
<i>Augochloropsis</i> (<i>Paraugochloropsis</i>) sp. 1	4	8	12
<i>Augochloropsis</i> (<i>Paraugochloropsis</i>) sp. 2	1	6	7
<i>Augochloropsis calypso</i> (Smith, 1879)	5	12	17
<i>Augochloropsis</i> sp. 1	2	10	12
<i>Augochloropsis</i> sp. 2	1	3	4
<i>Augochloropsis</i> sp. 3		1	1
<i>Augochloropsis</i> sp. 4		1	1
<i>Augochloropsis</i> sp. 5		1	1
<i>Augochloropsis</i> sp. 6		2	2
<i>Pseudaugochlora graminea</i> (Fabricius, 1804)	1		1
<i>Pseudaugochlora pandora</i> (Smith, 1853)	2	1	3
<i>Thectochlora brachycera</i> Gonçalves & Melo, 2006		1	1
<i>Thectochlora hamata</i> Gonçalves & Melo, 2006	1	1	2
<i>Agapostemon</i> sp.	1	3	4
<i>Augochlorella</i> sp.	1	6	7
<i>Dialictus</i> sp. 1	1	6	7
<i>Dialictus</i> sp. 2	3	4	7
<i>Dialictus</i> sp. 3		5	5
<i>Dialictus</i> sp. 4	1		1
Megachilidae			
<i>Megachile</i> (<i>Pseudocentron</i>) <i>rubricata</i> Smith, 1853	7	2	9
<i>Megachile</i> sp.	3	3	6
Total	455	300	755

TABLE 2 Bee species sampled on pan-traps on soybean plantations and natural areas on Western Bahia (Brazil).

The abundance ($Z=-1.733$, $P=0.08$) and richness ($Z=0.435$, $P=0.6$) of bees in the soybean crop and in the Cerrado matrix did not show significant differences, for each of the

transects. On the other hand, our results indicate that both the abundance ($Z=5.624$, $P<0.01$) and richness ($Z=2.323$, $P=0.02$) of species are greater in the soybean cultivation area compared to the natural areas of cerrado (Fig. 2).

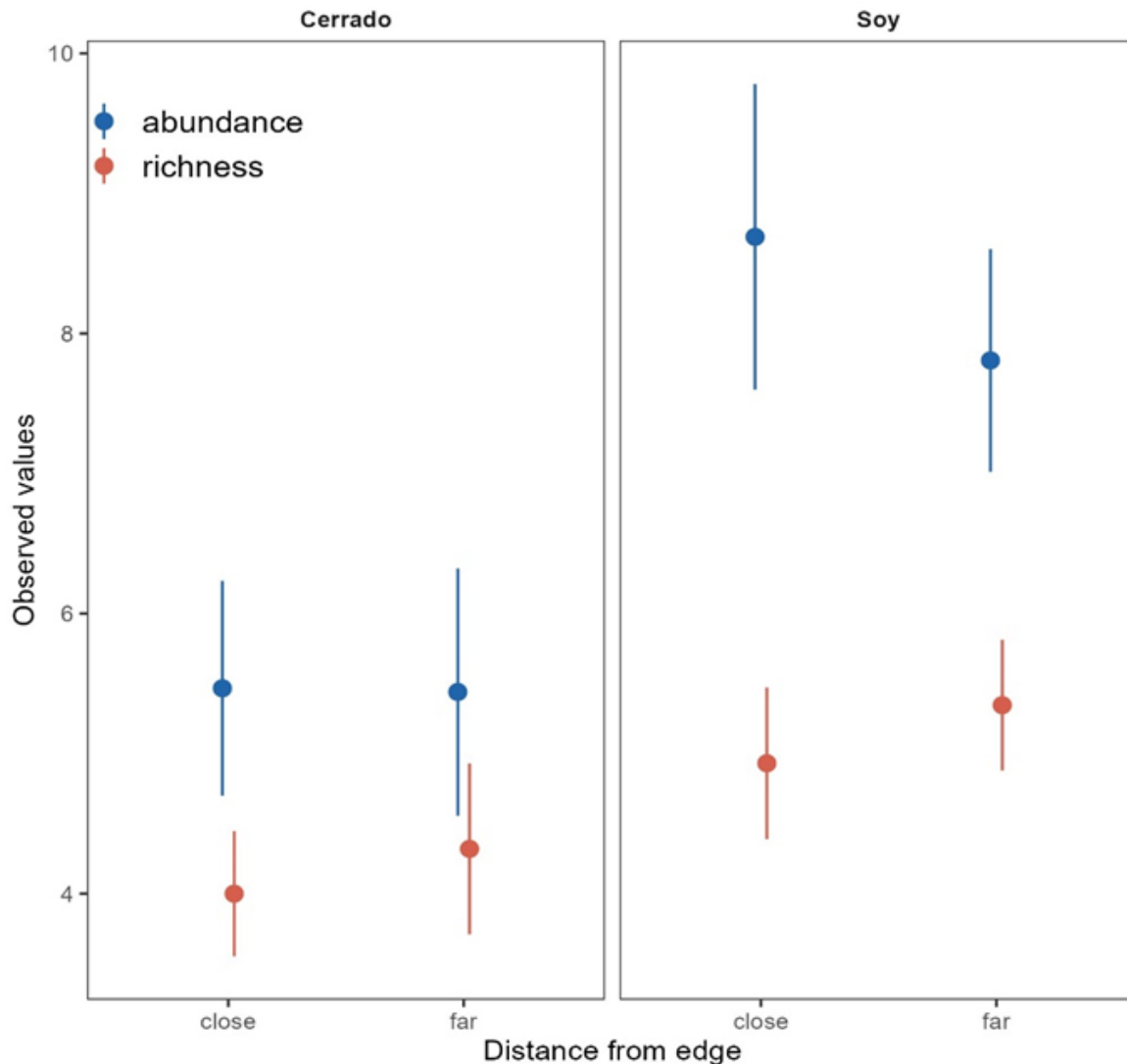


FIGURE 2 Abundance, richness index of bee diversity, comparing Cerrado and soybean plantations on Western Bahia (Brazil).

In the comparisons of species composition, we detected significant differences between natural cerrado areas and soybean crops (for abundance: $F=5.4806$, $df=1$, $P=0.001$; for presence and absence: $F=4.3099$, $df=1$, $P=0.001$). No distinct groups were found when comparing the four distances from natural areas of cerrado to soybean crops (for abundance: $F=1.3403$, $df=1$, $P=0.1$; for presence and absence: $F=1.2318$, $df=1$, $P=0.1$) (Fig. 3). However when we compare the two closer distances, 10 and 100 meters, and

the two far distances, 250 and 500 m, we can observe a high difference in abundance and richness on soybean crops, and no distinction on natural areas (Fig. 2).

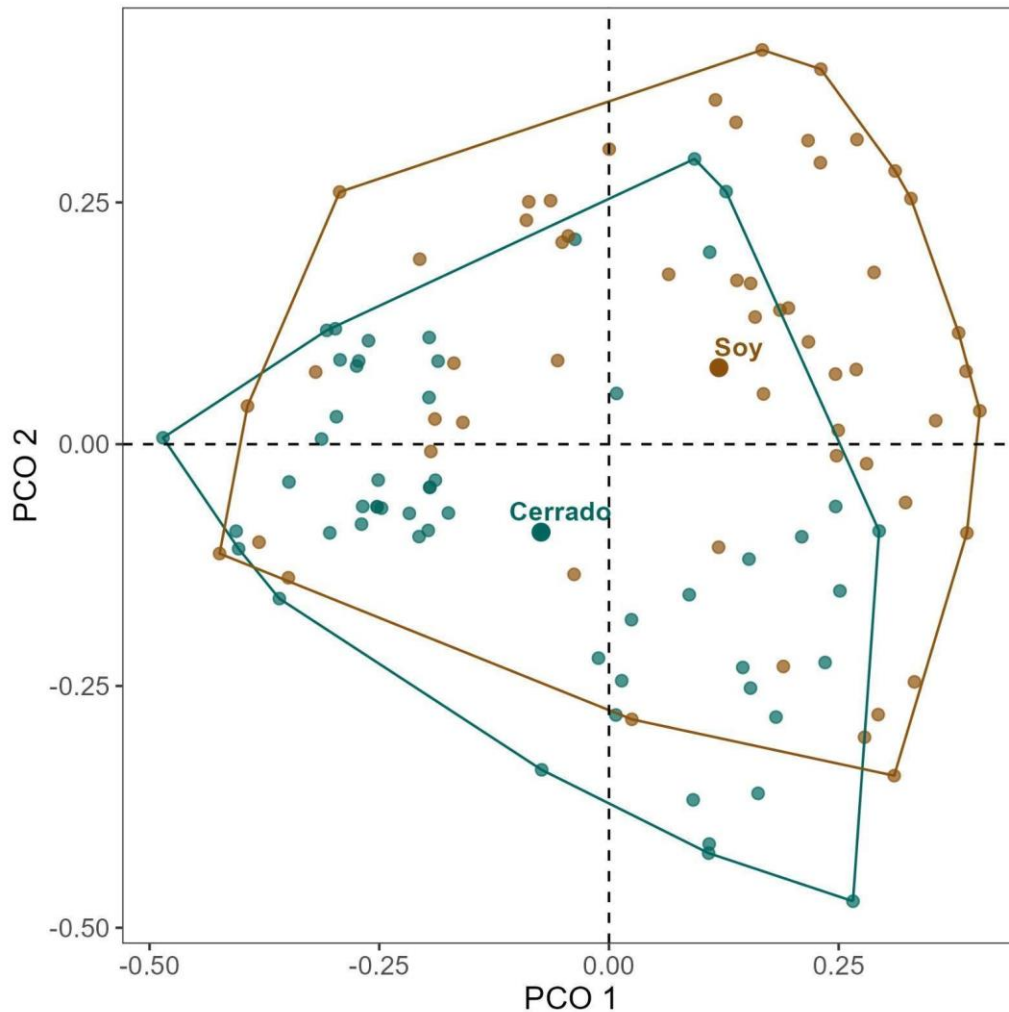


FIGURE 3 PCOA with the distribution of bee species composition between natural areas of cerrado and soybean plantations

The abundance of *A. mellifera* was significantly higher in soybean crops compared to natural Cerrado areas ($Z=3.068$, $P=0.002$). The number of bees reported on the distinct distances - 10, 50, 250 and 500 meters from the natural borders of cerrado, did not shown significative differences ($Z=-0.433$, $P=0.6$) (Fig 4).

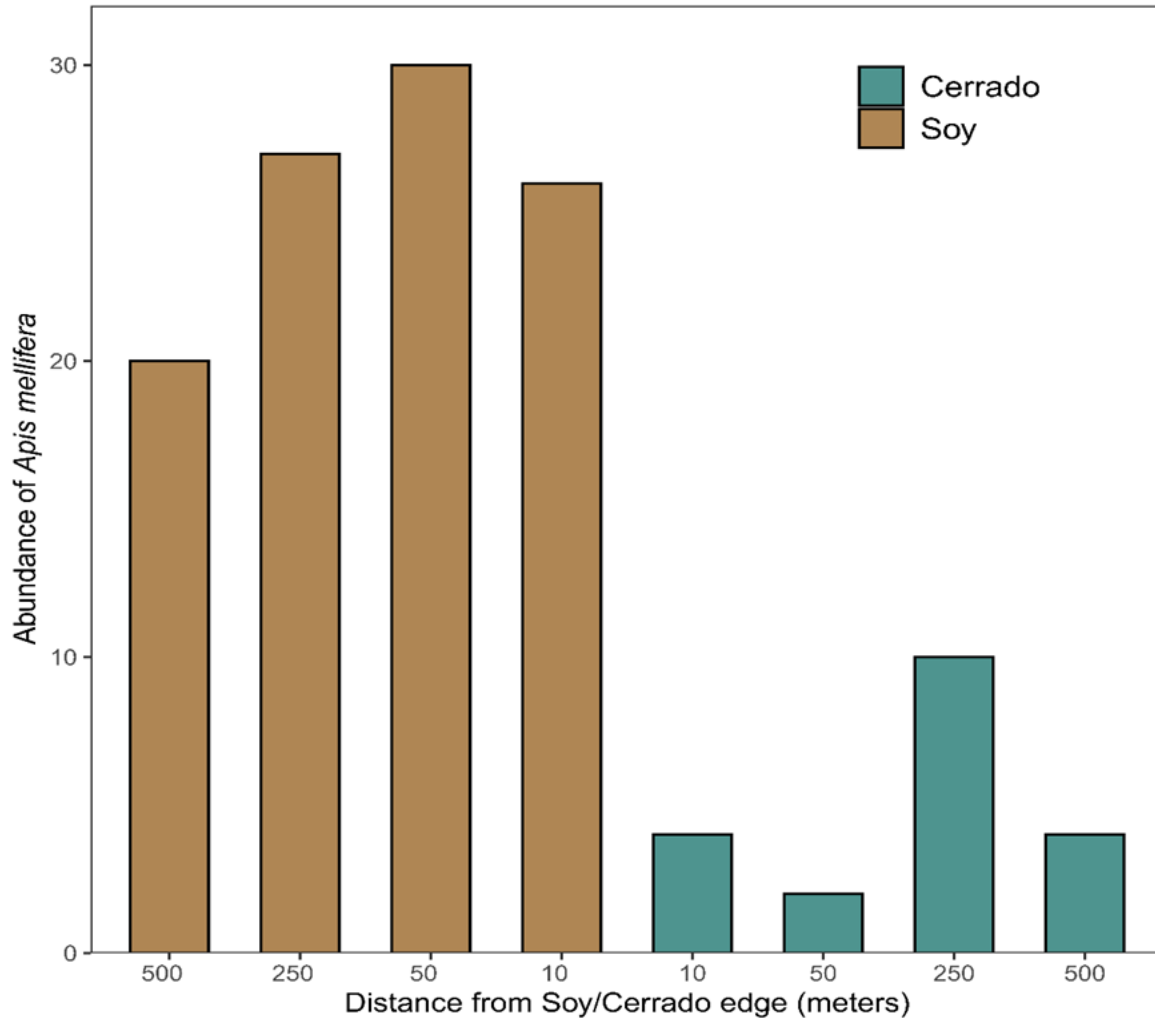


FIGURE 4 Difference between the abundances of *Apis mellifera* and native species.

It has been noted that a distinction exists between the abundances of *A. mellifera* and native species (average) ($Z=-19.210$, $P<0.001$). In this context, the abundance of *A. mellifera* surpasses that of native species on average. This distinction is consistently observed across various cerrado areas and soybean crops ($Z=12.880$, $P<0.001$). Essentially, this higher abundance is consistently observed in soybean crops (Fig 5).

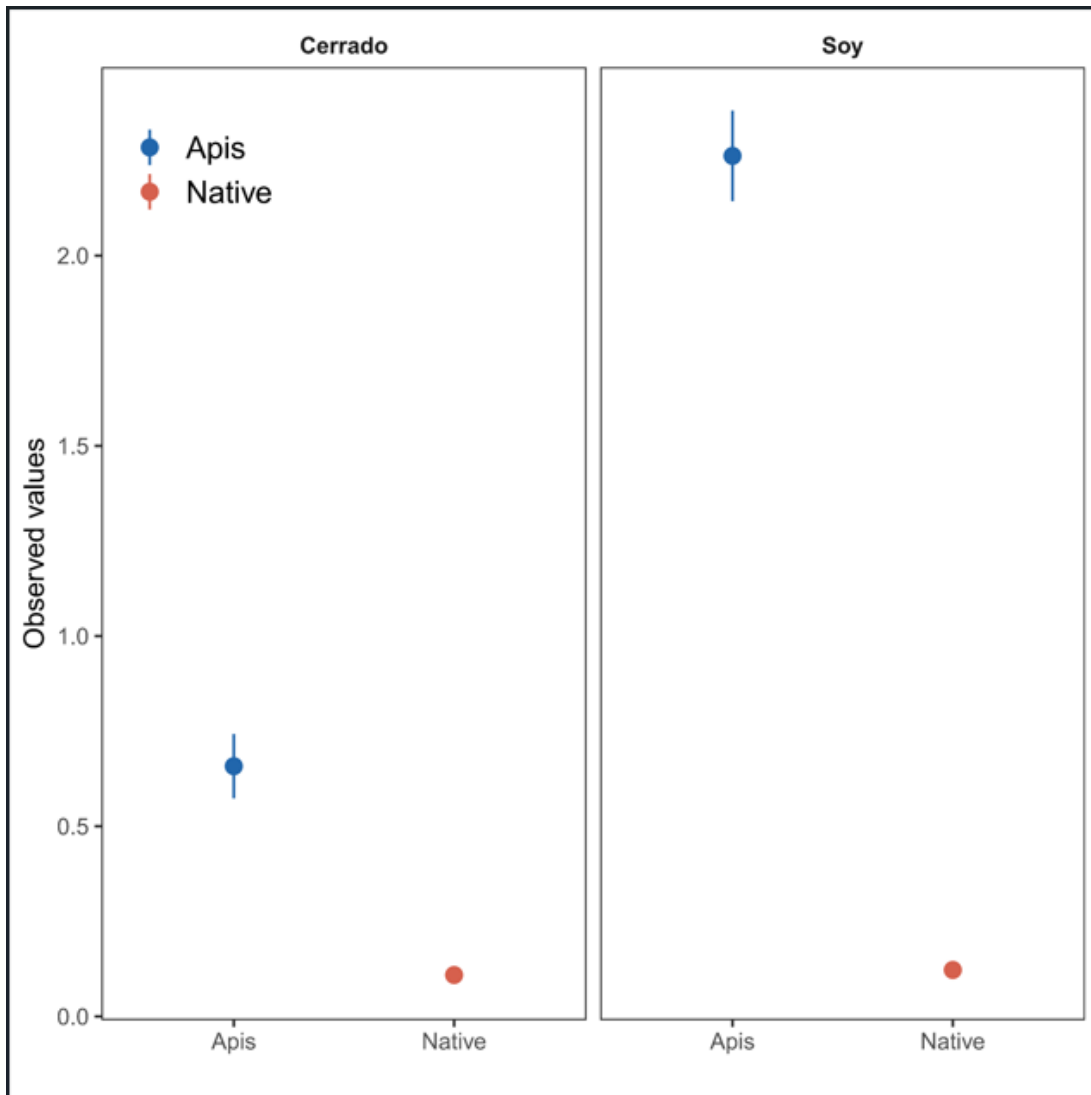


FIGURE 5 .Abundance of *Apis mellifera* in relation to all other bees at different distances in soybean cultivation

DISCUSSION

Our results suggest that the natural areas of cerrado are strong providers of bee pollinators for soybean crops. The soybean mass-flowering is very attractive for bees, including *A. mellifera* and wild bees, in nearby natural areas, suggesting a potential pollination service of these bees for soybean production. Fifty bee species were collected on soybean crops in our experiment on Western Bahia with a high abundance of *Apis mellifera*. The ecosystem service of natural pollination provided by nearby natural areas of crops were also observed in many other studies supporting a considerable value of the nearby natural areas for crop production (Clair et al., 2022; Drunen et al., 2022; Moreaux et al., 2022). The Cerrado, characterized as a tropical savanna boasting rich biodiversity

and recognized as a biodiversity hotspot, holds the potential for significantly greater ecosystem services related to pollination, encompassing stingless bees and solitary bees, in comparison to temperate regions. Similar studies performed in high soybean crop regions, like Central Iowa (US), observed high bee attraction of bees for the mass flowering soybean crops, however the mainly structure and composition of bee communities of nearby natural areas are very distinct from tropical regions, with a predominance of smaller bee species like the genus *Dialictus* (Clair et al., 2022; Gill & O'neil, 2015).

The mass flowering of soybeans attracted mainly common and generalist species. The exotic social *Apis mellifera*, two social stingless bees (*T. spinipes* and *P. lineata*) and the solitary-communal species *E. auropilosa* comprise more than 50% of the bees collected on soybean crops. These four species may represent key species that were also reported as the most abundant visitors and pollinators of the other important crops on Cerrado, like common beans (Ferreira et al., 2022, Silva et al., 2023). The increase production of soybean provided by the pollination of *A. mellifera* were reported in many studies (Erickson et al., 1978), and the high abundance of this bee species in the soybean crops of western Bahia, reinforcing the importance of natural areas of cerrado for soybean crops. *Apis mellifera* is an exotic species very adapted to Cerrado savanna, with a high abundance between the most common bee species (Pedro & Camargo, 1991).

The preserved forest areas in the Cerrado, such as Legal Reserves, play a fundamental role in maintaining pollinators in agricultural areas (Jauker et al., 2009; Luo et al., 2020). These pollinators have a significant impact on assisted pollination, thereby increasing soybean productivity (Gazzoni & Paz Barateiro, 2023). Among them, the presence of the exotic species *A. mellifera* stands out as the economically most important pollinator for monocultures due to its generalist habits (Gazzoni & Paz Barateiro, 2023; Klein et al., 2007). However, the dispersion of these insects into agricultural areas will depend on the quality of nearby refuges found by these individuals, providing nesting and foraging support for different species (Forrest et al., 2015; Jauker et al., 2009). The social bees on tropical landscapes, like stingless bees and *A. mellifera*, with a eusocial organization and a constant large populations have a significant influence on promoting pollination and increasing crop productivity (Gazzoni & Paz Barateiro, 2023; Milfont et al., 2013).

A lack of significant difference between sampling distances concerning the edge of the natural area and the planting area can be partly explained by the composition of the collected species, which are predominantly social bees or medium to large-sized bees with substantial flight capabilities. Most of the bees presented on the samplings are social, like *A. mellifera*, *T. spinipes*, or medium to large bees, *Peponapis fervens* and *Epicharis bicolor*, suggesting that on Cerrado most of species have a wide range of flight and can flow from cerrado natural areas to long distances inside the soybean crops. Social bees have are mostly generalists and have special strategies to find seasonal plant resource abundances, and must be an special concern due that on tropical areas the richness and abundance of social stingless bees (Grüter & Hayes, 2022; Roubik , 1992; Willians et al.,

2012 ;). Despite the medium to large bees being able to fly long distances, solitary bees on Cerrado are mainly composed of oligolectic bees with dependence of a heterogeneity of plant families like Malpighiaceae, to sustain its diversity (Campbell et al., 2019; Pacheco Filho et al., 2015).

The high diversity of bees on soybean crops alerts for a potential ecosystem service for pollination services of the tropical bees. Current proposals for an intensification of production of crops and sustainable systems must be worked together with a planned landscape (Boscolo et al., 2017, Garibaldi et al., 2023). A special concern is related to the pollination bee service which is very effective including longer distances on massive flowering, but depends on preserved and diversified natural areas.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

All analyses were performed in R statistical software using only functions provided in the cited libraries. The raw data of the bee specimens will be deposited on Specieslink and Gbif data repositories.

REFERENCES

- Aizen MA, Garibaldi LA, Cunningham SA, Klein AM (2009) How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Annals of Botany* 103:1579–1588. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp076>
- Araújo, M. L. S., Sano, E. E., Bolfe, É. L., Santos, J. R. N., dos Santos, J. S., & Silva, F. B. (2019). Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). *Land use policy*, 80, 57-67.
- Boscolo, D., Tokumoto, P. M., Ferreira, P. A., Ribeiro, J. W., & dos Santos, J. S. (2017). Positive responses of flower visiting bees to landscape heterogeneity depend on functional connectivity levels. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 15(1), 18-24.
<https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.03.002>
- Brooks, M. E., Kristensen, K., van Benthem, K. J., Magnusson, A., Berg, C. W., Nielsen, A., ... & Bolker, B. M. (2017). Modeling zero-inflated count data with glmmTMB. *BioRxiv*, 132753.
<https://doi.org/10.1101/132753>
- Campbell, A. J., Gigante Carvalheiro, L., Gastauer, M., Almeida-Neto, M., & Giannini, T. C. (2019). Pollinator restoration in Brazilian ecosystems relies on a small but

- phylogenetically-diverse set of plant families. *Scientific reports*, 9(1), 17383.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-53829-4>
- Clair, A. L. S., Zhang, G., Dolezal, A. G., O'Neal, M. E., & Toth, A. L. (2022). Agroecosystem landscape diversity shapes wild bee communities independent of managed honey bee presence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 327, 107826.
- Chiari, W. C., Toledo, V. D. A. A. D., Hoffmann-Campo, C. B., Rúvolo-Takasusuki, M. C. C., Toledo, T. C. S. D. O. A. D., & Lopes, T. D. S. (2008). Polinização por *Apis mellifera* em soja transgênica [Glycine max (L.) Merrill] Roundup Ready™ cv. BRS 245 RR e convencional cv. BRS 133. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 30, 267-271.
- Decourtye A, Alaux C, Le Conte Y, Henry M (2019) Toward the protection of bees and pollination under global change: present and future perspectives in a challenging applied science. *Current Opinion in Insect Science* 35:123–131.
<https://doi.org/10.1016/j.cois.2019.07.008>
- Erickson, B., Lind, E. A., Johnson, B. C., & O'Barr, W. M. (1978). Speech style and impression formation in a court setting: The effects of “powerful” and “powerless” speech. *Journal of experimental social psychology*, 14(3), 266-279.
[https://doi.org/10.1016/0022-1031\(78\)90015-X](https://doi.org/10.1016/0022-1031(78)90015-X)
- Evans K, El-Hifnawi J, Hooks C, Espíndola A (2023) Benefits of Cross-Pollination in Vegetable Soybean Edamame: Cross-Pollination in Vegetable Soybean Edamame. *J Poll Ecol* 35:329–340. [https://doi.org/10.26786/1920-7603\(2023\)728](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2023)728)
- Food and Agriculture Organization. (2019). FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat>
- Ferreira JVA, Storck-Tonon D, Ramos AWP, et al (2022) Critical role of native forest and savannah habitats in retaining neotropical pollinator diversity in highly mechanized agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 338:108084. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108084>
- Forrest JRK, Thorp RW, Kremen C, Williams NM (2015) Contrasting patterns in species and functional-trait diversity of bees in an agricultural landscape. *J Appl Ecol* 52:706–715.
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12433>
- Garibaldi, L. A., Zermoglio, P. F., Jobbágy, E. G., Andreoni, L., Ortiz de Urbina, A., Grass, I., & Oddi, F. J. (2023). How to design multifunctional landscapes?. *Journal of Applied Ecology*, 60(12), 2521-2527.
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.14517>
- Gathmann, A., & Tschardtke, T. (2002). Foraging ranges of solitary bees. *Journal of animal ecology*, 71(5), 757-764.
- Gazzoni DL, Paz Barateiro JVGR (2023) Soybean yield is increased through complementary pollination by honey bees. *Journal of Apicultural Research* 1–12.
<https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2161219>

- Gill, K. A., & O'neal, M. E. (2015). Survey of soybean insect pollinators: community identification and sampling method analysis. *Environmental entomology*, 44(3), 488-498.
- Gonçalves RD, Chang HK (2017). Modelo Hidrogeológico do Sistema Aquífero Urucua na bacia do Rio Grande (BA). *Geociencias* 36:205–220.
<https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i2.11132>
- Grüter, C., & Hayes, L. (2022). Sociality is a key driver of foraging ranges in bees. *Current biology*, 32(24), 5390-5397.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.10.064>
- Hartig, F., & Hartig, M. F. (2017). Package 'DHARMA'. R package.
- Jauker F, Diekötter T, Schwarzbach F, Wolters V (2009) Pollinator dispersal in an agricultural matrix: opposing responses of wild bees and hoverflies to landscape structure and distance from main habitat. *Landscape Ecol* 24:547–555.
<https://doi.org/10.1007/s10980-009-9331-2>
- Khalifa SAM, Elshafiey EH, Shetaia AA, et al (2021) Overview of Bee Pollination and Its Economic Value for Crop Production. *Insects* 12:688.
<https://doi.org/10.3390/insects12080688>
- Klein A-M, Vaissière BE, Cane JH, et al (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc R Soc B* 274:303–313.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Luo D, Silva DP, De Marco Júnior P, et al (2020) Model approaches to estimate spatial distribution of bee species richness and soybean production in the Brazilian Cerrado during 2000 to 2015. *Science of The Total Environment* 737:139674.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139674>
- Marco, P., & Coelho, F. M. (2004). Services performed by the ecosystem: forest remnants influence agricultural cultures' pollination and production. *Biodiversity & Conservation*, 13, 1245-1255.
- Michener, CD, 2007. *The Bees of the World*. 2nd. Ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Milfont, T. L., Richter, I., Sibley, C. G., Wilson, M. S., & Fischer, R. (2013). Environmental consequences of the desire to dominate and be superior. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 39(9), 1127-1138.
<https://doi.org/10.1177/0146167213490805>
- Monasterolo, M., Musicante, M. L., Valladares, G. R., & Salvo, A. (2015). Soybean crops may benefit from forest pollinators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 202, 217-222.

- Montero-Castaño A, Ortiz-Sánchez FJ, Vilà M (2016) Mass flowering crops in a patchy agricultural landscape can reduce bee abundance in adjacent shrublands. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 223:22–30. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.02.019>
- Moreaux, C., Meireles, D. A., Sonne, J., Badano, E. I., Classen, A., González-Chaves, A., ... & Dalsgaard, B. (2022). The value of biotic pollination and dense forest for fruit set of Arabica coffee: A global assessment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 323, 107680. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107680>
- Moreira EF, Santos RL da S, Penna UL, et al (2016) Are pan traps colors complementary to sample community of potential pollinator insects? *J Insect Conserv* 20:583–596. <https://doi.org/10.1007/s10841-016-9890-x>
- Moure, JS, D Urban & GAR Melo, 2012. Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region - online version. Available in: <<http://www.moure.cria.org.br/catalogue>> [Access: 08.01.2023].
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals?. *Oikos*, 120(3), 321-326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>
- Oksanen, J. et al. Package ‘vegan’. Community ecology package, version, v. 2, n. 9, 2019.
- Pacheco Filho, A. J. D. S., Verola, C. F., Lima Verde, L. W., & Freitas, B. M. (2015). Bee-flower association in the Neotropics: implications to bee conservation and plant pollination. *Apidologie*, 46, 530-541 <https://doi.org/10.1007/s13592-014-0344-8>
- Paradis, E., & Schliep, K. (2019). ape 5.0: an environment for modern phylogenetics and evolutionary analyses in R. *Bioinformatics*, 35(3), 526-528. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bty633>
- Pedro, S. R., & De Camargo, J. M. F. (1991). Interactions on floral resources between the Africanized honey bee *Apis mellifera* L and the native bee community (Hymenoptera: Apoidea) in a natural " cerrado" ecosystem in southeast Brazil. *Apidologie*, 22(4), 397-415. <https://doi.org/10.1051/apido:19910405>
- Roubik, D. W., & Roubik, D. W. (1992). Ecology and natural history of tropical bees. Cambridge University Press.
- Roulston, T. A. H., Smith, S. A., & Brewster, A. L. (2007). A comparison of pan trap and intensive net sampling techniques for documenting a bee (Hymenoptera: Apiformes) fauna. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 80(2), 179-181.

Silva, F.D., Ramos, D.S., Mertens, F., & Carneiro, L. G. (2023). Native pollinators improve the quality and market value of common bean. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 349: 108432.

Simoes R, Picoli MCA, Camara G, et al (2020) Land use and cover maps for Mato Grosso State in Brazil from 2001 to 2017. *Sci Data* 7:34.
<https://doi.org/10.1038/s41597-020-0371-4>

Van Drunen, S. G., Linton, J. E., Kuwahara, G., & Ryan Norris, D. (2022). Flower plantings promote insect pollinator abundance and wild bee richness in Canadian agricultural landscapes. *Journal of Insect Conservation*, 26(3), 375-386.
<https://doi.org/10.1007/s10841-022-00400-8>

Williams, N. M., J. Regetz, and C. Kremen. 2012. Landscape-scale resources promote colony growth but not reproductive performance of bumble bees. *Ecology* 93: 1049–1058.
<https://doi.org/10.1890/11-1006.1>

Zurbuchen, A., Landert, L., Klaiber, J., Müller, A., Hein, S., & Dorn, S. (2010). Maximum foraging ranges in solitary bees: only few individuals have the capability to cover long foraging distances. *Biological Conservation*, 143(3), 669-676.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.12.003>

ACKNOWLEDGMENTS

To Edvonei da Silva Zavarisi for helping in the field sampling, to the farmers that allowed the study in their crops, to FAPDF for the grant project number 00193-00000229/2021-21. This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.

Resultados e considerações da dissertação

Nosso foco foi compreender grupos distintos de abelhas e variáveis de resposta, incluindo a contribuição geral da diversidade de abelhas selvagens para a visitação de flores de soja em áreas de cerrado. Nós examinamos a abundância de polinizadores cruciais para as culturas, explorando diferenças potenciais nos efeitos de *Apis mellifera* e abelhas nativas na visitação da soja. Para abordar esses aspectos, formulamos as seguintes questões de pesquisa: 1) Qual é a diferença entre a riqueza e abundância entre os diferentes pontos de amostragem para dentro do cultivo de soja e para dentro da matriz de Cerrado; 2) Há diferença significativa de abelhas em termos de abundância e riqueza entre a soja e o Cerrado no período de floração da soja?; 3) Há grupos distintos entre as áreas de soja e Cerrado, ou entre as distâncias do Cerrado para as áreas de cultivo de soja?; 4) Há diferença significativa na abundância de registros de *A. mellifera* em relação às todas as demais abelhas nas distintas distâncias no cultivo de soja?

A avaliação da composição de espécies destacou diferenças entre as áreas naturais do Cerrado e as áreas de cultivo de soja, evidenciando variações em termos de abundância. As abelhas tiveram maior capacidade de dispersão sobre as áreas de cultivo de soja até 50 metros da borda das áreas naturais, com menor riqueza e abundância nas distâncias maiores de 250 e 500 metros ressaltando a necessidade de uma paisagem mais heterogênea que permita a dispersão dos polinizadores sobre as áreas de cultivo.

Ao investigar a abundância específica de *A. mellifera*, observamos uma clara predominância dessa espécie nas plantações de soja em comparação com as áreas naturais do Cerrado. A notável diferença entre as abundâncias de *A. mellifera* e as espécies nativas foi uma descoberta notável. Essa distinção foi consistentemente observada em várias áreas do Cerrado e de cultivo de soja, destacando uma maior predominância de *A. mellifera* nas áreas de cultivo de soja.

Estes achados contribuem para o avanço da pesquisa na área da dinâmica de polinização em ambientes naturais e de produção agrícola, enfatizam o papel fundamental das áreas naturais do Cerrado como fornecedoras essenciais de polinizadores para as plantações de soja. A observação de uma atração de diversas abelhas, incluindo *A. mellifera* e abelhas selvagens, para a floração massiva da soja nas áreas naturais circundantes sugere um potencial serviço valioso de polinização prestado

por essas abelhas para a produção de soja ainda com a presença marcante de *A. mellifera* reforçando sua importância para a produção de soja, corroborando estudos anteriores que evidenciaram um aumento na produção de soja devido à efetiva polinização realizada por essa espécie.

Este estudo pretende contribuir para o conhecimento e conservação da diversidade de abelhas do bioma Cerrado, fornecendo informações valiosas sobre a ecologia desses insetos diante das adversidades impostas pelas atividades agrícolas intensivas. Ao compreender melhor a interação entre abelhas e agricultura, poderemos alinhar os interesses da produção agrícola com os benefícios proporcionados pela polinização, visando uma agricultura mais sustentável e resiliente.

REFERÊNCIAS

- AIBA. (2022). Anuário da Safra do Oeste Baiano 2021/2022. Recuperado de <https://aiba.org.br/wp-content/uploads/2023/02/2022AIBA.pdf>. Accessed on: Set. 17, 2023.
- Aizen, MA, Morales, CL e Morales, JM (2008). Invasive Mutualists Erode Native Pollination Webs. *Biologia PLoS*, 6 (2), e31. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0060031>
- Aizen MA, Garibaldi LA, Cunningham SA, Klein AM (2009) How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Annals of Botany* 103:1579–1588. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp076>
- Araújo MLSD, Sano EE, Bolfe ÉL, et al (2019) Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). *Land Use Policy* 80:57–67. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.09.040>
- Barda M, Karamaouna F, Kati V, Perdakis D (2023) Do Patches of Flowering Plants Enhance Insect Pollinators in Apple Orchards? *Insects* 14:208. <https://doi.org/10.3390/insects14020208>
- Beringer, J., Maciel, F. L., & Tramontina, F. F. (2019). O declínio populacional das abelhas: causas, potenciais soluções e perspectivas futuras. *Revista Eletrônica Científica da UERGS*, 5(1), 18-27. <https://doi.org/10.21674/2448-0479.51.18-27>
- Brasil. (2023). Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. Boletim Grãos Outubro 2020. Recuperado de https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/47457_c679632d468e7e3b773692c53d1e4c05
-]. Accessed on: Mai. 27, 2023.
- Brasil. (2012). Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, 28 maio 2012, Seção 1, p. 1. Disponível em <http://portal.in.gov.br/>. Accessed on: Out. 02, 2023.
- Calmon D (2022) Shifting frontiers: the making of Matopiba in Brazil and global redirected land use and control change. *The Journal of Peasant Studies* 49:263–287. <https://doi.org/10.1080/03066150.2020.1824183>
- Cane, J. H. (2001). Habitat fragmentation and native bees: a premature verdict?. *Conservation Ecology*, 5(1).
- Castro, A.A.J.F., F.R. Martins, J.Y. Tamashiro & G.J. Shepherd. 1999. How rich is the flora of Brazilian cerrados? *Ann. Missouri Bot. Gard.* 86: 192-224.

- Chartuni Mantovani, E., Júnior, A. G. da S., Marcos Heil Costa, et al. (2019). Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia: Quantificação e Monitoramento da Disponibilidade dos Recursos do Aquífero Urucuia e Superficiais nas Bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha (Relatório Técnico Final). Recuperado de <https://aiba.org.br/wp-content/uploads/2023/08/Relatorio-Estudo-dos-Recursos-Hidricos-na-Regiao-Oeste-da-Bahia-2019.pdf>
- Chiari, W. C., Toledo, V. D. A. A. D., Hoffmann-Campo, C. B., Rúvolo-Takasusuki, M. C. C., Toledo, T. C. S. D. O. A. D., & Lopes, T. D. S. (2008). Polinização por *Apis mellifera* em soja transgênica [*Glycine max* (L.) Merrill] Roundup Ready™ cv. BRS 245 RR e convencional cv. BRS 133. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 30, 267-271.
- Erickson, E. H., & Garment, M. B. (1979). Soya-bean flowers: nectary ultrastructure, nectar guides, and orientation on the flower by foraging honeybees. *Journal of Apicultural Research*, 18(1), 3-11.
<https://doi.org/10.1080/00218839.1979.11099935>
- Evans K, El-Hifnawi J, Hooks C, Espíndola A (2023) Benefits of Cross-Pollination in Vegetable Soybean Edamame: Cross-Pollination in Vegetable Soybean Edamame. *J Poll Ecol* 35:329–340. [https://doi.org/10.26786/1920-7603\(2023\)728](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2023)728)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). Faostat: Food and agriculture data. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Accessed on January 17, 2024.
- Ferreira JVA, Storck-Tonon D, Ramos AWP, et al (2022) Critical role of native forest and savannah habitats in retaining neotropical pollinator diversity in highly mechanized agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 338:108084.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108084>
- dos Santos Filho, A. M., & Rios Filho, J. N. V. (2008). A revalorização econômica do oeste baiano a partir da expansão da agricultura moderna e o surgimento de um novo território: o município de Luís Eduardo Magalhães–BA. *PEGADA-A Revista da Geografia do Trabalho*, 9(2). Trabalho, 9(2).
<https://doi.org/10.33026/peg.v9i2.1661>
- Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O'Connell, C., Ray, D.K., West, P.C., Balzer, C., Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., Zaks, D.P.M., 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478, 337–342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>.
- Forrest, J. R. K., Thorp, R. W., Kremen, C., & Williams, N. M. (2015). Contrasting patterns in species and functional-trait diversity of bees in an agricultural landscape. *Journal of Applied Ecology*, 52(3), 706–715. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12433>

- Garibaldi, L. A., Schulte, L. A., Jodar, D. N. N., Carella, D. S. G., & Kremen, C. (2021). Time to integrate pollinator science into soybean production. *Trends in Ecology & Evolution*, 36(7), 573-575.
- Gazzoni, D. L. (2017). Soybean and bees. Embrapa Soja, 147p. Available at: <https://www.embrapa.br/en/buscade-publicacoes/-/publicacao/1056599/soybean-and-bees>. Accessed: May. 17, 2023.
- Gazzoni, D. L., & Paz Barateiro, J. V. G. R. (2023). Soybean yield is increased through complementary pollination by honey bees. *Journal of Apicultural Research*, 1-12. <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2161219>
- Gazzoni, D. L., & Dall'Agnol, A. (2018). A saga da soja: de 1050 a.C a 2050 d.C. Embrapa Soja., 199. p.
- Giannini, T. C., Cordeiro, G. D., Freitas, B. M., Saraiva, A. M., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2015). The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. *Journal of Economic Entomology*, 108(3), 849–857. <https://doi.org/10.1093/jee/tov093>.
- Gill, K. A., & O'neal, M. E. (2015). Survey of soybean insect pollinators: community identification and sampling method analysis. *Environmental entomology*, 44(3), 488-498. <https://doi.org/10.1093/ee/nvv001>
- González-Chaves, A., Carneiro, LG, Garibaldi, LA, & Metzger, JP (2022). Os efeitos positivos da cobertura florestal sobre a produtividade do café são consistentes em todas as regiões. *Jornal de Ecologia Aplicada* , 59 (1), 330-341. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14057>
- González-Varo, J. P., & Vilà, M. (2017). Spillover of managed honeybees from mass-flowering crops into natural habitats. *Biological Conservation*, 212, 376-382. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.06.018>
- Grandolfo, V. A., et al. (2013). Riqueza e Abundância de Abelhas Euglossini (Hymenoptera, Apidae) em Parques Urbanos de Goiânia, Goiás. *EntomoBrasilis*, 6(2), 126-131.
- Halinski R, Garibaldi LA, Dos Santos CF, et al (2020) Forest fragments and natural vegetation patches within crop fields contribute to higher oilseed rape yields in Brazil. *Agricultural Systems* 180:102768. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102768>
- Holzschuh A, Dainese M, González-Varo JP, et al (2016) Mass-flowering crops dilute pollinator abundance in agricultural landscapes across Europe. *Ecology Letters* 19:1228–1236. <https://doi.org/10.1111/ele.12657>

- Jauker, F., et al. (2009). Pollinator dispersal in an agricultural matrix: opposing responses of wild bees and hoverflies to landscape structure and distance from main habitat. *Landscape Ecology*, 24(4), 547-555. <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9331-2>
- Klein A-M, Vaissière BE, Cane JH, et al (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc R Soc B* 274:303–313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Klink, C.A. & R.B. Machado. 2005. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conserv. Biol.* 19: 707-713. Lopes, A.V., I.C. Machado, A.V. Aguiar & J.M.M. Rebêlo
- Leff, B., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2004). Geographic distribution of major crops across the world. *Global biogeochemical cycles*, 18(1). <https://doi.org/10.1029/2003GB002108>
- Levenson, H. K., Sharp, A. E., & Tarpy, D. R. (2022). Evaluating the impact of increased pollinator habitat on bee visitation and yield metrics in soybean crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 331, 107901. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107901>
- Luo, D., et al. (2020). Model approaches to estimate spatial distribution of bee species richness and soybean production in the Brazilian Cerrado during 2000 to 2015. *Science of The Total Environment*, 737, 139674. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139674>
- Ribeiro, J. F., & Walter, B. M. T. (2008). As Principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In S. M. Sano, S. P. Almeida, & J. F. Ribeiro (Eds.), *Cerrado: ecologia e flora* (pp. 152-212). Brasília: EMBRAPA Informações Tecnológicas.
- Roubik, D. W. (Ed.). (1995). *Pollination of cultivated plants in the tropics* (Vol. 118). Food & Agriculture Org.
- Simoes, R., Picoli, M. C., Camara, G., Maciel, A., Santos, L., Andrade, P. R., ... & Carvalho, A. (2020). Land use and cover maps for Mato Grosso State in Brazil from 2001 to 2017. *Scientific Data*, 7(1), 34. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0371-4>
- Souza, E. P., Degrande, P. E., Barbosa, V. O., ALVES JUNIOR, V. V., & Malaquias, J. B. (2023). Temporal dynamics of *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) during flowering in indeterminate soybean (*Glycine max*). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 95, e20191214. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202320191214>
- Quinlan, G. M., Milbrath, M. O., Otto, C. R., & Isaacs, R. (2021). Honey bee (*Apis mellifera*) colonies benefit from grassland/pasture while bumble bee (*Bombus impatiens*) colonies in the same landscapes benefit from non-corn/soybean cropland. *Plos one*, 16(9), e0257701.

Zalles, V., Hansen, M. C., Potapov, P. V., Parker, D., Stehman, S. V., Pickens, A. H., ... & Kommareddy, I. (2021). Rapid expansion of human impact on natural land in South America since 1985. *Science advances*, 7(14), eabg1620. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.abg1620>