



TÁSSIA RAYANE FERREIRA CHAGAS

**RECURSOS FLORAIS EM ÁREAS AGRÍCOLAS: UM
CAMINHO PARA CONCILIAR A CONSERVAÇÃO DA
DIVERSIDADE DE ABELHAS COM PRODUÇÃO DE
ALIMENTOS**

**LAVRAS – MG
2023**

TÁSSIA RAYANE FERREIRA CHAGAS

**RECURSOS FLORAIS EM ÁREAS AGRÍCOLAS: UM CAMINHO PARA CONCILIAR
A CONSERVAÇÃO DA DIVERSIDADE DE ABELHAS COM PRODUÇÃO DE
ALIMENTOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais em Paisagens Fragmentadas e Agroecossistemas, para a obtenção do título de Doutora.

Prof^ª. Dr^ª. Carla Rodrigues Ribas
Orientadora

**LAVRAS – MG
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Tássia Rayane Ferreira Chagas.

Recursos florais em áreas agrícolas: um caminho para conciliar
a conservação da diversidade de abelhas com produção de
alimentos / Tássia Rayane Ferreira Chagas. - 2023.

66 p. : il.

Orientador(a): Carla Rodrigues Ribas.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Intensificação ecológica. 2. Diversidade de abelhas. 3.
Manejo sustentável. I. Ribas, Carla . . II. Título.

TÁSSIA RAYANE FERREIRA CHAGAS

**RECURSOS FLORAIS EM ÁREAS AGRÍCOLAS: UM CAMINHO PARA CONCILIAR
A CONSERVAÇÃO DA DIVERSIDADE DE ABELHAS COM PRODUÇÃO DE
ALIMENTOS**

**FLORAL RESOURCES IN AGROECOSYSTEMS: A PATH TO RECONCILE BEES
DIVERSITY AND FOOD PRODUCTION**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais em Paisagens Fragmentadas e Agroecossistemas, para a obtenção do título de Doutora.

APROVADA em 25 de Abril de 2023.
Dr^a. Thais Giovannini Pellegrini, UFLA
Dr. Cássio Alencar Nunes, UFLA
Dr^a. Aline Cristina Martins, U-M
Dr. André Luiz Batista Tavares, UFLA

Prof^a. Dr^a. Carla Rodrigues Ribas
Orientadora

**LAVRAS-MG
2023**

AGRADECIMENTOS

Agradeço à todas instituições que possibilitaram a minha formação acadêmica, desde o ensino infantil até a pós-graduação. Especificamente, agradeço à Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada pelo espaço físico e pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal. Agradeço à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos (Código de Financiamento 001) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) processo N° 400590/2018-2, pelo financiamento para a realização do segundo capítulo desta tese. Sem o suporte destas instituições e das políticas públicas que viabilizam o acesso e a permanência no ensino superior, eu não estaria aqui.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, pelo tempo dedicado à minha formação, pelo conhecimento compartilhado, pelas experiências e aprendizados. Aos membros da minha banca de acompanhamento, por terem contribuído com esse trabalho ao longo de seu desenvolvimento.

Agradeço com muito carinho à Associação de Camponesas e Camponeses Agroecológicos de Lavras (ACCAL), uma cooperativa de pessoas determinadas e interessadas pelo equilíbrio com o meio ambiente, pela justiça social e pela soberania alimentar. Foi uma honra conviver com cada uma e cada um de vocês. Agradeço pela acolhida, pelos almoços, pelas conversas e por permitir que nossa pesquisa fosse realizada nas áreas onde vocês moram e de onde retiram seu sustento. Agradeço às Fazendas NKG e Pinhal, por também permitirem a realização da nossa pesquisa e pelo interesse em melhorar o ambiente dos cultivos para a conservação das abelhas.

Eu preciso agradecer às pessoas que fizeram parte dessa caminhada. Foi um caminho longo, por vezes árduo, e foram várias as mãos que me seguraram durante este processo. É difícil nomear cada uma, porque, felizmente, desde 2018 convivi e troquei experiências e afetos com muitas pessoas. Marcos Mendes, Larissa Cordeiro, Agnis Cristiane, Adriana Milagres, Ana Teresa, Ana Carolina, Nayara Reis, Tamires Talamonte, Nara Junqueira. Essas pessoas estiveram comigo durante o processo seletivo, nos primeiros anos do doutorado, enquanto eu lidava com os primeiros desafios da elaboração do projeto, coletas de campo, disciplinas. Agradeço pela presença, por ajudar a trazer leveza e energia! Matheus e Ana Lua, eu recebi vocês na minha vida com muito amor, na metade do doutorado. Minha melhor surpresa, Ana Lua nasceu filha, eu renasci mãe. Mãe e cientista. Muito obrigada por existir, filha. Escrevo honestamente: a sua existência me deu vida, a sua vida me ensinou a encontrar

paz e em paz eu pude caminhar em meio às suas necessidades, às minhas e às obrigações do doutorado. Carla, Marília, Luane, Dara, Camila, Guilherme, Ícaro, Leticia, Chaim, Antônio. Vocês me deram um sopro de ânimo quando eu achei que não conseguiria mais continuar, me receberam de braços abertos quando eu troquei de orientação, me lembraram o prazer de fazer pesquisa e me deram a honra de fazer parte das suas vidas.

Para além das pessoas que estiveram presentes durante esses anos, eu agradeço às pessoas que não estiveram presentes mas que me deram a dádiva da vida, aos meus ancestrais, à minha família, aos que de alguma forma abriram mão de suas necessidades pelas minhas, aos que lutaram pelos meus direitos. Agradeço às minhas amigas da vida inteira, Laryssa, Bárbara, Michele. Às minhas raízes que me firmam e me nutrem. Eu sou porque nós somos.

RESUMO GERAL

Nós dependemos da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos para a manutenção do nosso bem-estar. Os polinizadores e a polinização são um exemplo dessa dependência; através da polinização de cultivos e de plantas silvestres os polinizadores, como as abelhas, aumentam a produtividade das culturas globalmente e garantem a reprodução da flora nativa. Contudo, a expansão e intensificação agrícola causam perda de habitat e reduzem a oferta de recursos florais que as abelhas precisam para sobreviver e persistir. Para conciliar a produção de alimentos com a conservação da biodiversidade é necessário minimizar os impactos da produção agrícola na diversidade de polinizadores. Considerando a necessidade de conservar a diversidade de polinizadores áreas agrícolas, nós estruturamos esta tese em dois capítulos, 1) Fizemos uma revisão sistemática sobre o efeito do enriquecimento floral na diversidade de abelhas mundialmente e 2) Avaliamos se a disponibilidade local de recursos florais e o manejo em cultivos de café afetam a diversidade de abelhas. Nós encontramos 148 trabalhos na revisão, o tema começou a ser desenvolvido recentemente, principalmente em países temperados e em áreas de monocultura. Existem poucos artigos sobre o efeito do enriquecimento floral para cada tipo de cultivo encontrado, os trabalhos são realizados com enriquecimentos florais recém estabelecidos e são de curta duração. Assim, é necessário em estudos futuros abranger uma maior diversidade de regiões climáticas, sistemas de produção agrícola e tipos de cultivos, uma vez que estas variáveis podem influenciar o resultado e a escolha da técnica de enriquecimento. Também precisamos de dados para compreender a dinâmica entre enriquecimentos maduros e a diversidade de abelhas. As amostragens que são conduzidas tanto durante quanto fora da floração do cultivo principal são necessárias para compreender a relação de complementariedade temporal de recursos florais nas áreas agrícolas. No segundo artigo mostramos que a disponibilidade de recursos afeta positivamente a visitação das abelhas. As abelhas Halictini e *Plebeia* spp. foram influenciadas positivamente e as abelhas *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758) negativamente pela transição para o cultivo orgânico. Portanto, a disponibilidade de plantas floridas e a transição para o manejo orgânico contribuíram positivamente para a taxa de visitação e diversidade de abelhas, principalmente das nativas. Mostramos que as culturas perenes podem oferecer recursos além da própria floração da cultura e que medidas de manejo que permitem a floração espontânea das plantas são ações eficientes para aumentar a presença de abelhas, o que deve resultar em mais sustentabilidade nas áreas cultivadas. Portanto, concluímos que 1) é essencial que sejam realizadas mais pesquisas sobre enriquecimento floral, considerando alguns fatores que faltam na literatura, como: estudos em diferentes condições climáticas, em diferentes tipos de cultivo, em áreas com enriquecimento floral maduro, estudos de longa duração e que sejam realizadas coletas tanto durante a floração quanto antes ou após. E que 2) a transição para o cultivo orgânico e medidas de manejo para permitir o florescimento de plantas espontâneas - como espaçamento do tempo de retirada das plantas espontâneas (roçagem) ou a redução/substituição de agrotóxicos - são medidas eficientes para promover a sustentabilidade em áreas agrícolas.

Palavras-chave: Enriquecimento floral. Diversidade de abelhas. Agroecossistemas. Intensificação ecológica. Sustentabilidade na produção de café.

ABSTRACT

We depend on biodiversity and the ecosystem services it provides to maintain our well-being. Pollinators and pollination are an example of this dependence; through the pollination of crops and wild plants, pollinators such as bees increase crop productivity globally and ensure the reproduction of native flora. However, agricultural expansion and intensification cause habitat loss and reduce the availability of floral resources that bees need to survive and persist. To reconcile food production with biodiversity conservation, it is necessary to minimize the impact of agricultural production on pollinator diversity. Considering that management practices that increase pollinator diversity are a promising approach to biodiversity conservation in agricultural areas, we structured this thesis into two chapters: 1) We conducted a systematic review of the effect of floral enrichment on bee diversity globally, and 2) We evaluated whether local availability of floral resources and management strategies in coffee crops affect bee diversity. We found 148 studies in the review, and the topic began to be developed recently (2000), mainly in temperate countries and monoculture areas. We also found that there are few articles on the effect of floral enrichment for each type of crop found, that the works are carried out with newly established floral enrichments are short-lived and carried out during or outside the crop flowering. Therefore, future studies need to cover a greater diversity of climatic regions, agricultural production systems, and types of crops, as these variables can influence the results and, consequently, the choice of the most appropriate enrichment technique for bee conservation in different regions and production systems. We also need data to understand the dynamics between mature enrichments and bee diversity because this data can positively influence the result of floral enrichment in the bee assembly. And samplings that are conducted both during and outside the main crop flowering are necessary to understand the temporal complementarity relationship of floral resources in agricultural areas. In the second article, we showed that resource availability positively affects bee visitation rate. The Halictini bees and *Plebeia* spp. genus were positively influenced, and *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758) bees were negatively influenced by the transition to organic farming. Therefore, the availability of flowering plants and the transition to organic management contributed positively to bee visitation rate and diversity, mainly native ones. We showed that perennial crops can offer resources beyond the crop flowering itself, and management measures that allow spontaneous plant flowering are effective actions to increase bee presence, which should result in more sustainability in cultivated areas. Considering the analyzed results, we conclude that 1) more research on floral enrichment is essential, considering some factors missing in the literature, such as studies in different climatic conditions, in different types of crops, in areas with mature floral enrichment, long-term studies, and collections conducted both during flowering and before or after. And that 2) the transition to organic farming and management measures to allow spontaneous plant flowering - such as spacing the time of removal of spontaneous plants (mowing) or reducing/replacing pesticides - are efficient measures to promote sustainability in agricultural areas

Keywords: Floral enrichment. Bee diversity. Agroecosystems. Ecological intensification. Sustainability in coffee production.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1 - Diferentes tipos de enriquecimento floral em campos cultivados promovem a conservação de abelhas – uma revisão sistemática

Figura 1 – Mapa de distribuição global das áreas estudadas nos artigos selecionados para revisão sistemática	25
Figura 2 – Número cumulativo de artigos publicados selecionados para revisão sistemática em relação ao ano de publicação	25
Figura 3 – Número de artigos publicados por região do mundo e por número de países	26
Figura 4 – Número de artigos publicados por quantidade de cultivos amostrados nas áreas agrícolas	27
Figura 5 – Número de artigos publicados por tempo de implantação do enriquecimento floral nos estudos	28
Figura 6 – Número de artigos publicados por duração de amostragem nos trabalhos expressa em anos	28
Figura 7 – Número de artigos publicados por duração de amostragem nos trabalhos expressa por eventos amostrais	29
Figura 8 – Número de artigos publicados por duração de amostragem nos trabalhos expressa em meses	29
Figura 9 – Número de artigos publicados por número de áreas amostradas nas áreas agrícolas	30
Figura 10 – Número de artigos publicados em relação aos efeitos do enriquecimento floral mensurados na assembleia de abelhas	31

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2 - Availability of alternative floral resources in coffee crops supports conservation of native bees

- Figure 1. Map of southeastern Brazil. The state of Minas Gerais is highlighted in grey, and the municipalities of Lavras and Santo Antônio do Amparo are highlighted in red. Black markers indicate the points sampled for bee diversity 10
- Figure 2. Effect of the richness of alternative floral resources on the visitation rate of bees in coffee crops. Best model (AICc = 160.6) 52
- Figure 3. Effect of alternative floral resource coverage on the visitation rate of bees in coffee crops. Third best model (AICc = 162.2) 53

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2 - Availability of alternative floral resources in coffee crops supports conservation of native bees

- Table 1. Best mixed linear models selected according to AICc for bee richness, abundance and visitation in alternative resources in coffee crops 53
- Table 2. List of BIC values and effect coefficients of the richness and resource cover variables in each class. Classes of the best models without *A. mellifera* for richness: Class 1: all other bees, Class 2: species in the Halictini tribe and *Plebeia* spp., and for coverage: Class 1: species in the Halictini tribe and *Plebeia* spp. and Class 2: all other bees. Classes of the best models with *A. mellifera* for richness and cover: class 1: *A. mellifera* and class 2: all other bees 54
- Table 3. List of BIC values and effect coefficients of the type of cultivation in each class with and without *A. mellifera*. Classes of the best model with *A. mellifera*: Class 1: *A. mellifera*, Class 2: all other bees, Class 3: species in the Halictini tribe and *Plebeia* spp. Classes of the best model without *A. mellifera*: Class 1: species in the Halictini tribe and Class 2: all other bees 55

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE.....	12
REFERÊNCIAS.....	15
SEGUNDA PARTE – ARTIGOS.....	17
ARTIGO 1 - DIFERENTES TIPOS DE ENRIQUECIMENTO FLORAL EM CAMPOS CULTIVADOS PROMOVEM A CONSERVAÇÃO DE ABELHAS – UMA REVISÃO SISTEMÁTICA	19
.....	
ARTIGO 2 - AVAILABILITY OF ALTERNATIVE FLORAL RESOURCES IN COFFEE CROPS SUPPORTS CONSERVATION OF NATIVE BEES.....	44
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66

PRIMEIRA PARTE
INTRODUÇÃO GERAL

Introdução Geral

A polinização é um processo biológico crucial para as plantas, permitindo o fluxo de pólen entre as flores da mesma espécie e, conseqüentemente, a reprodução sexuada (Oliveira & Maruyama, 2002). Esse processo resulta na recombinação gênica, que pode gerar uma série de benefícios para as plantas, tais como: gerações competitivamente superiores, maior resistência à predação, maior capacidade de colonização e menor expressão de genes recessivos deletérios (Meynard-Smith 1978, Crawley 1997). A polinização pode ocorrer através de vetores abióticos, como água ou vento, vetores bióticos, por meio de animais polinizadores, e pode ainda ocorrer sem vetores, no caso da autopolinização, quando o pólen é transferido entre gametas da mesma flor ou da mesma planta (Oliveira & Maruyama, 2002).

Em geral, a polinização animal aumenta a taxa de reprodução de cerca de 90% das angiospermas (Ollerton et al., 2011). As plantas que apresentam diferentes graus de dependência de vetores bióticos para se reproduzirem são chamadas de plantas dependentes de polinizadores (Klein et al., 2007). Tanto plantas silvestres quanto cultivadas apresentam dependência de polinizadores, desde pouco ou nenhum grau de dependência, quando o incremento em produção de sementes e frutos é pequeno ou inexistente, como no caso dos cereais, até dependência completa, como kiwi e melão (Klein et al., 2007). A produção de cultivos dependentes de polinização tem aumentado mundialmente (Aizen et al., 2008). Esses cultivos possuem maior valor de mercado (Gallai et al., 2009), mas têm um crescimento intrínseco da produtividade relativamente menor, o que pode levar a maiores taxas de expansão agrícola para atender à demanda crescente do mercado (Aizen et al., 2009).

Dado o exposto acima, para aumentar a produtividade de cultivos dependentes de polinizadores é necessário incrementar a diversidade de polinizadores (Blüthgen & Klein, 2011; Brittain et al., 2013). Contudo, a diversidade de polinizadores está em declínio, mesmo com a crescente demanda por esses cultivos (Ratto et al., 2018). As abelhas são os principais polinizadores dos cultivos comerciais (Garibaldi et al., 2013) e a perda de sua diversidade está relacionada a diversos fatores ligados à atividade agrícola, como estresse provocado por parasitas, pesticidas e pela falta de flores (Goulson et al., 2015). Áreas agrícolas, portanto, podem representar ambientes pobres em áreas de nidificação para a maioria dos polinizadores e com disponibilidade de alimento limitada a um curto período de tempo (Garibaldi et al., 2011; Rader et al., 2016; Westphal, Steffan-Dewenter, & Tschamtkke, 2003). Algumas estratégias podem ser utilizadas para minimizar o impacto da agricultura na biodiversidade de polinizadores, como a transição entre modos de cultivo (Centeno-Alvarado et al., 2023) e

práticas definidas como intensificação ecológica, que envolvem manejo direto das áreas agrícolas para intensificar os processos ecológicos que sustentam a produção, como a polinização (Kovács-Hostyánszki et al., 2017). A intensificação ecológica pode ser implementada através de diversas técnicas e, recentemente, algumas meta-análises abordaram o efeito do enriquecimento floral nas margens dos cultivos (Zamorano et al., 2020; Lowe et al., 2021) e da utilização de cercas vivas e faixas de flores (Albrecht et al., 2020) sobre a diversidade de abelhas e o serviço de polinização. Entretanto, os resultados podem variar de acordo com o tipo de cultivo, além de existirem outras abordagens que não foram consideradas, que variam na magnitude de mudança necessária nos cultivos, como a cobertura solo com as plantas espontâneas e ainda os trabalhos que abordam a disponibilidade de recursos florais, mas não classificam como enriquecimento floral.

Para entender melhor o efeito de estratégias de conservação da diversidade de polinizadores em áreas agrícolas, realizamos uma revisão sistemática, no primeiro artigo, que examinou o impacto do enriquecimento de recursos florais na diversidade de abelhas em todo o mundo, levando em consideração uma variedade de técnicas de enriquecimento e cultivos. Além disso, no segundo artigo avaliamos se a disponibilidade de plantas com flores, que ocorrem naturalmente nos cultivos de café, pode aumentar a visitação e a diversidade de abelhas em períodos em que o café não está florescendo.

REFERÊNCIAS

- Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., Cunningham, S. A., & Klein, A. M. (2008). **Long-term global trends in crop yield and production reveal no current pollination shortage but increasing pollinator dependency.** *Current Biology*, 18, 1572–1575.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.08.066>
- Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., Cunningham, S. A., & Klein, A. M. (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>
- Brittain, C., Williams, N., Kremen, C. & Klein, A. (2013) **Synergistic effects of non-Apis bees and honey bees for pollination services.** *Proceedings of the Royal Society B*, 280, 20122767.
- Blüthgen N, Klein A-M. 2011. **Functional complementarity and specialisation: the role of biodiversity in plant–pollinator interactions.** *Basic and Applied Ecology* 12:282–291.
[10.1016/j.baae.2010.11.001](https://doi.org/10.1016/j.baae.2010.11.001)
- Centeno-Alvarado, D., Lopes, A.V., Arnan, X. 2023. **Fostering pollination through agroforestry: A global review.** V:351,108478.
- Crawley, M.J. 1997. Sex. p. 156-213. In: Crawley, M. (ed.) **Plant ecology.** Oxford, Blackwell Publishing, 717pp.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J.S., Johnston, M., ... Zaks, D. P. M. (2011). **Solutions for a cultivated planet.** *Nature*, 478, 337–342.
<https://doi.org/10.1038/nature10452>
- Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). **Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline.** *Ecological Economics*, 68, 810–821. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014>
- Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Kremen, C., Morales, J. M., Bommarco, R., Cunningham, S. A., ... Klein, A. M. (2011). **Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits.** *Ecology Letters*, 14, 1062–1072.
<https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01669.x>
- Goulson, D., Nicholls, E., Botias, C., Rotheray, E.L. **Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers.** *Science*, 347 (2015), p. 10
- Klein, A.-M. *et al.* **Importance of pollinators in changing landscapes for world crops.** *P. Roy. Soc. B. Biol. Sci.* **274**, 303–313 (2007).
- Kovács-Hostyánszki, A., Espíndola, A., Vanbergen, A.J., Settele, J., Kremen, C. and Dicks, L.V. (2017), **Ecological intensification to mitigate impacts of conventional intensive land use on pollinators and pollination.** *Ecol Lett*, 20: 673-689. <https://doi.org/10.1111/ele.12762>
- Meynard-Smith, J. 1978. **The Evolution of Sex.** Cambridge, Cambridge University Press, 222pp.

- Ollerton, J., Winfree, R. & Tarrant, S. 2011. **How many flowering plants are pollinated by animals?** *Oikos*, 120: 321–326.
- Oliveira & Maruyama, 2002. **Sistemas Reprodutivos em Biologia da Polinização**, Rech et al., 2012
- Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L. A., Garratt, M. P. D., Howlett, B. G., Winfree, R., Woyciechowski, M. (2016). **Non-bee insects are important contributors to global crop pollination.** *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113, 146–151. <https://doi.org/10.1073/pnas.1517092112>
- Ratto, F., Simmons, B. I., Spake, R., Zamora-Gutierrez, V., MacDonald, M. A., Merriman, J. C., ... Dicks, L. V. (2018). **Global importance of vertebrate pollinators for plant reproductive success: A meta-analysis.** *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16, 82–90. <https://doi.org/10.1002/fee.1763>
- Westphal, C., Steffan-Dewenter, I., & Tschamntke, T. (2003). **Mass flowering crops enhance pollinator densities at a landscape scale.** *Ecology Letters*, 6, 961–965. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00523.x>

SEGUNDA PARTE
ARTIGOS

Diferentes tipos de enriquecimento floral em campos cultivados promovem a conservação de abelhas – uma revisão sistemática

Artigo elaborado de acordo com as normas da revista Agriculture, Ecosystems and Environment

Tássia R. F. Chagas^{1*}, Carla Rodrigues Ribas¹

¹ - Departamento de Ecologia e Conservação, Instituto de Ciências Naturais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil. Av. Dr. Sylvio Menicucci, Caixa Postal 3037, CEP 37200-900.

* corresponding author: tassiafchagas@gmail.com

Agradecimentos

Nós agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - código de financiamento 001) pelo financiamento da bolsa de pesquisa que possibilitou a realização deste trabalho.

Conflito de interesses

As autoras declaram que não há conflito de interesses para essa publicação.

Contribuição das autoras

TRFC concebeu o trabalho, coletou e analisou os dados, e escreveu o manuscrito. CRR ajudou na concepção do trabalho e revisou o manuscrito. Todos os autores contribuíram criticamente para o manuscrito e deram aprovação final para publicação.

Diferentes tipos de enriquecimento floral em campos cultivados promovem a conservação de abelhas – uma revisão sistemática

Resumo

Para conciliar a produção de alimentos com a conservação da biodiversidade é necessário implementar ações para minimizar os impactos da produção agrícola na diversidade de polinizadores. O modelo atual de produção baseado na monocultura convencional restringe a diversidade de recursos disponíveis para o forrageio e nidificação das abelhas, contribuindo para o declínio das populações. A intensificação ecológica, por meio de práticas de manejo que aumentam a diversidade de polinizadores e consequentemente a produtividade das culturas, é uma abordagem promissora para a conservação da biodiversidade em áreas agrícolas. Nós fizemos uma revisão sistemática sobre o efeito do enriquecimento floral na diversidade de abelhas no mundo com base em 148 trabalhos que encontramos sobre o assunto. Observamos que o estudo sobre o enriquecimento de recursos florais em áreas agrícolas para aumentar a diversidade de abelhas começou a ser desenvolvido recentemente, principalmente em países temperados e em áreas de monocultura. Encontramos também que existe pouca informação sobre o efeito dos tipos de enriquecimento em cada tipo de cultivo, ou seja, poucos estudos em cada tipo de cultivo. Os principais tipos de enriquecimento encontrados são faixas de flores, disponibilidade de recursos florais espontâneos, cercas vivas e cultivos de floração em massa. Desta forma, é necessário ampliar o escopo de investigação para abranger uma maior diversidade de regiões climáticas, sistemas de produção agrícola e tipos de cultivos, uma vez que estas variáveis podem influenciar o resultado e, consequentemente, a escolha da técnica de enriquecimento mais adequada para a conservação das abelhas.

Palavras-chave: Intensificação ecológica, Agroecossistemas, Recursos florais, Sustentabilidade em áreas agrícolas

Introdução

Um dos maiores desafios da atualidade é conciliar a produção de alimentos, para atender à crescente demanda mundial, com a conservação da biodiversidade (Fastré et al., 2021). A conversão de habitats naturais para outros usos do solo, como a agricultura, gera consequências ambientais e ecológicas, como a perda da biodiversidade e de serviços ecossistêmicos (Kok et al., 2018; Shahmohamadloo et al., 2021). A redução de recursos florais, decorrente da conversão de ambientes naturais em agricultura, afeta especialmente os polinizadores, tanto em cultivos quanto em ambientes naturais (Kremen et al., 2007; Isaacs et al., 2009; Potts et al. 2010). Em cultivos, os polinizadores são essenciais para 75% da produção global de alimentos (Klein et al., 2007), sendo as abelhas importantes polinizadores dos cultivos atuais (Garibaldi et al., 2013; Klein et al., 2007; Losey and Vaughan, 2006; Winfree et al., 2007). Em ambientes naturais, 87% das plantas silvestres são dependentes de polinizadores para reprodução (Ollerton et al., 2011).

Desta forma, enquanto as abelhas utilizam recursos florais e extra-florais para diversas finalidades, como construção de ninho, defesa, alimentação, hidratação e controle de temperatura (Michener, 2007), elas contribuem para o bem-estar humano ao aumentar a produtividade de cultivos comerciais e ao garantir a reprodução de plantas silvestres dependentes de polinizadores (Costanza et al., 2018; Aguilar et al., 2006). Entretanto, no modelo de produção de alimentos atual, que são monoculturas convencionais, a oferta de recursos florais é limitada (Lark et al., 2015; Otto et al., 2016), e fica restrita à floração da espécie cultivada, limitando a diversidade de recursos disponíveis para as abelhas temporal e espacialmente (Lowe et al., 2021). Esta limitação acarreta prejuízos para a manutenção da diversidade de abelhas, uma vez que a escassez de recursos limita o crescimento populacional e compromete a saúde das colônias (Naug, 2009), e conseqüentemente limita a produção de alimentos que depende dos polinizadores (Nath et al., 2022), ao mesmo tempo que contribui diretamente para a redução de sua biodiversidade.

Neste contexto, precisamos de estratégias que sejam capazes de otimizar a produtividade e promover a conservação da diversidade de polinizadores em ambientes agrícolas. As práticas para alcançar este fim podem ser alcançadas através da intensificação ecológica, envolvendo o manejo direto das áreas agrícolas para aumentar a intensidade dos processos ecológicos que possibilitam a produtividade, como a regulação de pragas, ciclagem de nutrientes e a polinização (Bommarco et al., 2013; Tittone, 2014). Assim, é possível realizar o manejo da área agrícola de forma a promover um incremento na diversidade de

polinizadores (Garibaldi et al, 2016), uma vez que a diversidade de polinizadores aumenta a estabilidade e resiliência da comunidade e a produtividade dos próprios cultivos (Blüthgen & Klein, 2011; Brittain et al., 2013). Além disso, o uso consciente das funções e serviços ecossistêmicos para aumentar a quantidade e qualidade da produção agrícola reduz a necessidade de novas conversões de habitat (Kovács-Hostyánszki et al., 2017).

Uma vez que a persistência de abelhas em determinada área é positivamente relacionada à diversidade de recursos florais disponíveis (Kremen et al., 2018), e que a complementaridade de recursos oferecida pelo incremento em diversidade de plantas promove a conservação de espécies raras e também das que são polinizadoras importantes de cultivos (Sutter et al., 2017), o enriquecimento ambiental de recursos florais em áreas agrícolas é uma abordagem com potencial de conciliar as necessidades produtivas e ecológicas. O enriquecimento floral pode ser feito através de diversas técnicas e, recentemente, algumas meta-análises abordaram o efeito do enriquecimento floral nas margens dos cultivos (Zamorano et al., 2020; Lowe et al., 2021) e da utilização de cercas vivas e faixas de flores (Albrecht et al., 2020) sobre a diversidade de abelhas e o serviço de polinização. Entretanto, os resultados podem variar de acordo com o tipo de cultivo, além de existirem outras abordagens que não foram consideradas, que variam na magnitude de mudança necessária nos cultivos, como a cobertura solo com as plantas espontâneas e ainda os trabalhos que abordam a disponibilidade de recursos florais, mas não classificam como enriquecimento floral. Desta forma, nós realizamos uma revisão sistemática sobre o efeito do enriquecimento de recursos florais em áreas agrícolas sobre a diversidade de abelhas no mundo, considerando diversas técnicas de enriquecimento e variedade de cultivos.

Material e Métodos

Busca dos artigos

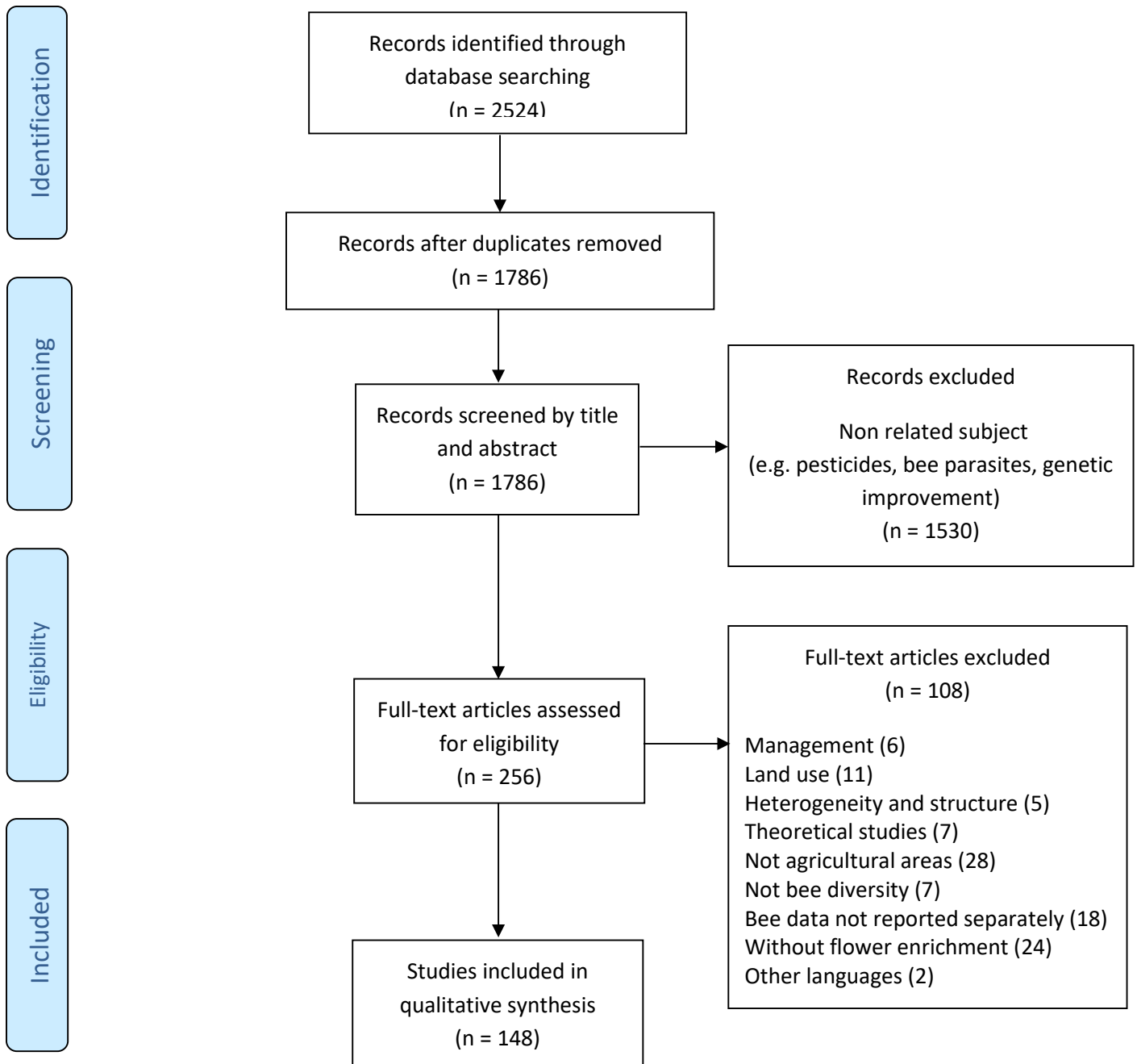
Nós conduzimos buscas de artigos sobre enriquecimento de recursos florais e diversidade de abelhas no mundo através das bases de dados “Web of Science” e “Scopus”, sem restrição de período de publicação. Iniciamos a busca com os termos: bee AND (“habitat enrichment” OR “habitat enhancement” OR “habitat management” OR groundcover OR weed OR “floral resource” OR “floral resource availability” OR “floral strips” OR “wild flower strips” OR hedgerow OR “flower rich margins” OR “mass flowering crops” OR intercropping OR agroforestry) AND (crop OR plantation* OR agroecosystem OR food production OR agriculture). Depois utilizamos o pacote “litsearcher” (R Project), uma ferramenta que utiliza

redes de busca de texto e de co-ocorrência de palavras-chave, para identificar os termos mais importantes para uma revisão e ampliar o alcance da busca (Grames et al., 2019). Após utilizar o “litsearcher” ampliamos a busca para as seguintes palavras-chave: bee AND (“habitat enrichment” OR “habitat enhancement” OR “habitat management” OR “management practice*” OR “management strateg*” OR groundcover OR weed OR “floral resource*” OR “floral resource availability” OR “floral strip*” OR “wild flower strips” OR hedgerow OR “flower rich margins” OR “mass flowering crops” OR intercropping OR agroforestry OR “flower cover” OR “flower strip*” OR “flower resource*” OR “flowering plant species” OR “plant richness” OR “plant diversity”) AND (crop* OR plantation* OR “food production” OR agr* OR “arable field” OR “cereal field” OR “field edges” OR “field border” OR “field margin*” OR orchard OR farm*).

Revisão qualitativa

Dos artigos encontrados nas bases de dados, nós coletamos as seguintes informações: autores, ano, título dos artigos, periódico, fator de impacto, país, região (temperado/tropical), coordenadas geográficas, vegetação nativa, ecossistema, tipo de cultivo, tipo de enriquecimento, se o enriquecimento era composto por culturas de floração em massa, tamanho do cultivo, estação de coleta (seca/chuvosa), período de coleta, ano da coleta, organismos coletados nos trabalhos, grupos de abelhas coletados, metodologia de coleta, a escala espacial do estudo, se espécies invasoras foram consideradas nas análises, tempo e custo de implantação dos recursos florais, número de áreas, se a coleta foi realizada no cultivo ou nos recursos florais, se a coleta ocorreu durante a florada do cultivo principal e a variável mensurada na assembleia de abelhas. Em alguns trabalhos os autores mediram recursos florais não cultivados, mas não os consideraram como enriquecimento floral, nesses casos nós consideramos a disponibilidade de recursos florais não cultivados como enriquecimento, uma vez que a presença destes recursos espontâneos aumenta a disponibilidade de recursos para as abelhas (Saunders et al., 2013).

Resultados



De acordo com os critérios descritos na metodologia, selecionamos 148 trabalhos para a revisão sistemática (fig.1). Os trabalhos sobre enriquecimento floral começaram a ser publicados nos anos 2000, começando com 1 artigo por ano e alcançando 27 artigos publicados em 2021 (fig.2). Existe uma grande diversidade de revistas que publicam neste tema (43). Do total de trabalhos, 39% estão concentrados em quatro revistas com alto fator de impacto:

Agriculture, Ecosystems and Environment (Impact fator 5.56) (16.9%), Biological Conservation (Impact fator 5.99) (8%), Journal of Applied Ecology (Impact fator 6.53) (7%), Agricultural and Forest Entomology (Impact fator 2.5) (6%). Entretanto, o restante está distribuído entre outras revistas, com no máximo oito artigos em cada, sendo que grande parte das revistas (19) contém somente uma ou duas publicações.

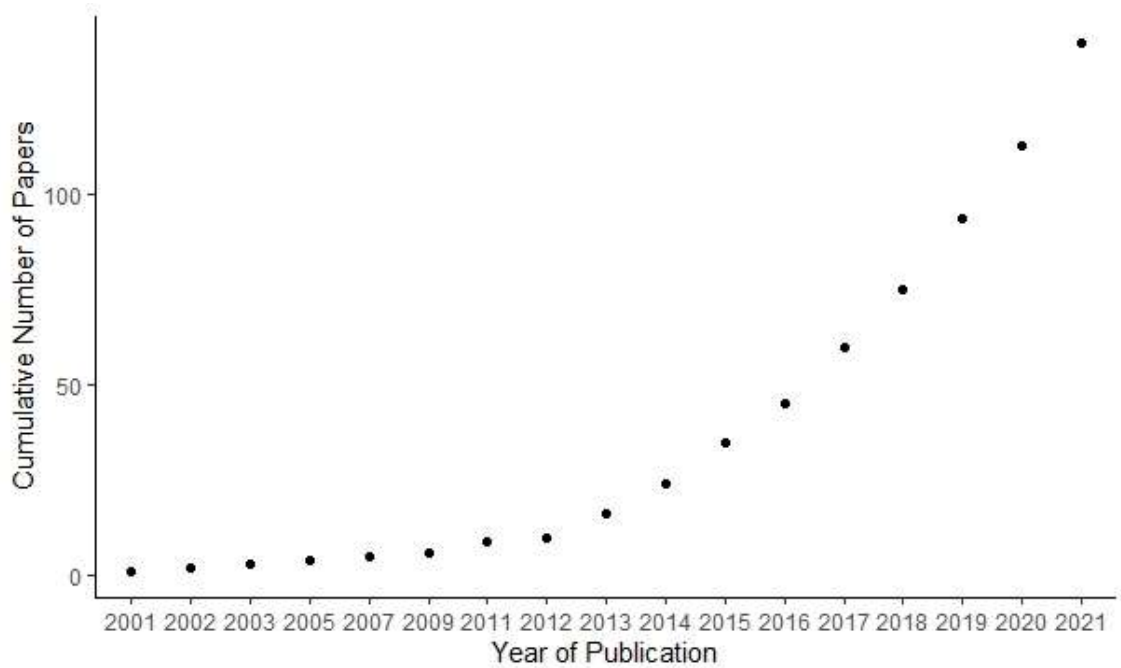
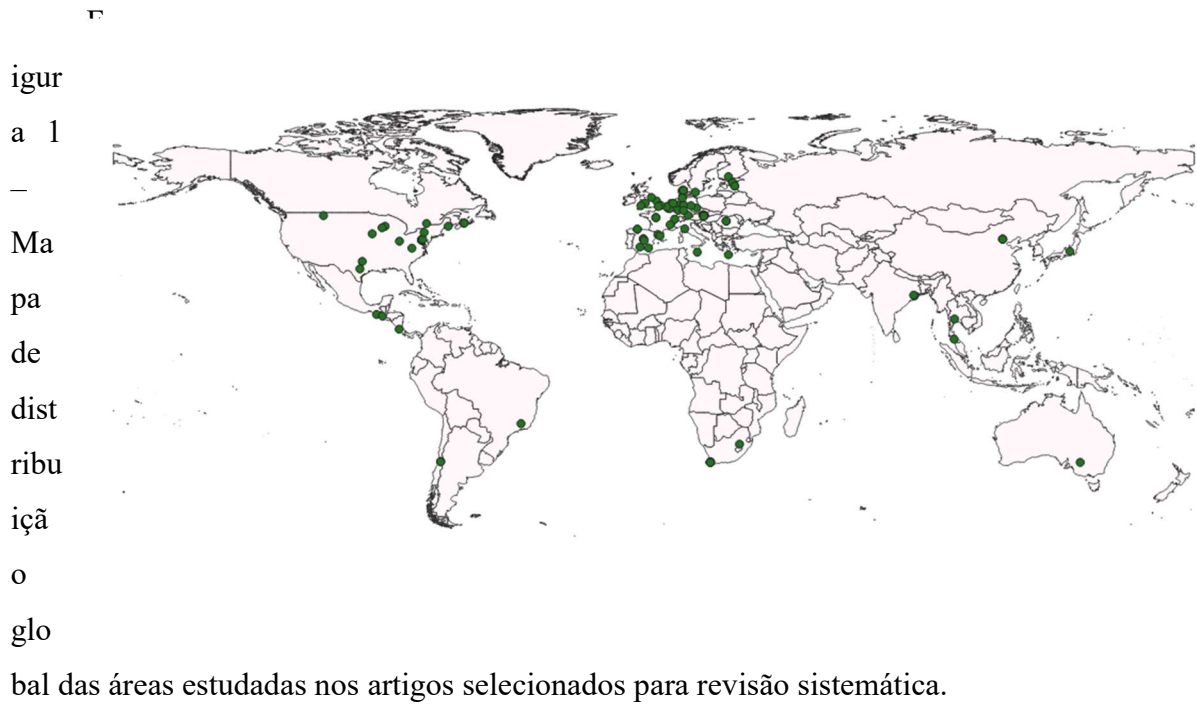
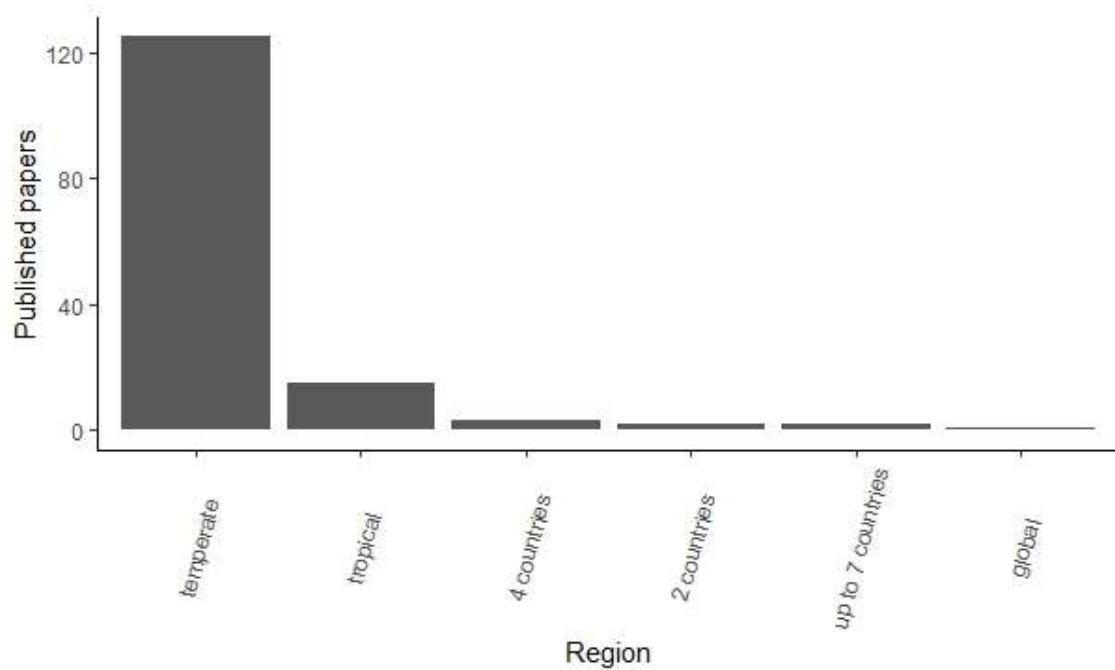


Figura 2 –Número cumulativo de artigos publicados selecionados para revisão sistemática em relação ao ano de publicação.

Os trabalhos analisados compreendem 20% dos países do mundo (+ de 40), entretanto a região mais estudada é a temperada (84% das publicações) (fig.3). Trabalhos envolvendo países tropicais ou mais de um país somam 15% e apenas um trabalho foi realizado em escala global. Os ecossistemas mais estudados são floresta (10%), pradarias (4%) e floresta e pradarias (4%), sendo que apenas 36.5% dos trabalhos reportaram informações sobre o



ecossistema onde o cultivo estava inserido.

Figura 3 – Número de artigos publicados por região do mundo e por número de países.

Entre os trabalhos selecionados, 73% definem os cultivos utilizados para o estudo e 26% utilizam termos gerais como “área agrícola”, “paisagem agrícola”, “campos cultivados”, “culturas comerciais”. Encontramos 32 tipos de cultivos, sendo que 73% dos trabalhos foram realizados em apenas uma cultura, e 26% em mais de uma (fig.4). Os cultivos mais estudados foram: maçã (6.5%), cereais (4.5%), vinhedos (4.5%) e trigo (4.5%), correspondendo a 20% de todos os trabalhos publicados sobre o assunto. Do total de artigos, 11% foram realizados em cultivos de áreas experimentais e 89% em cultivos de áreas comerciais.

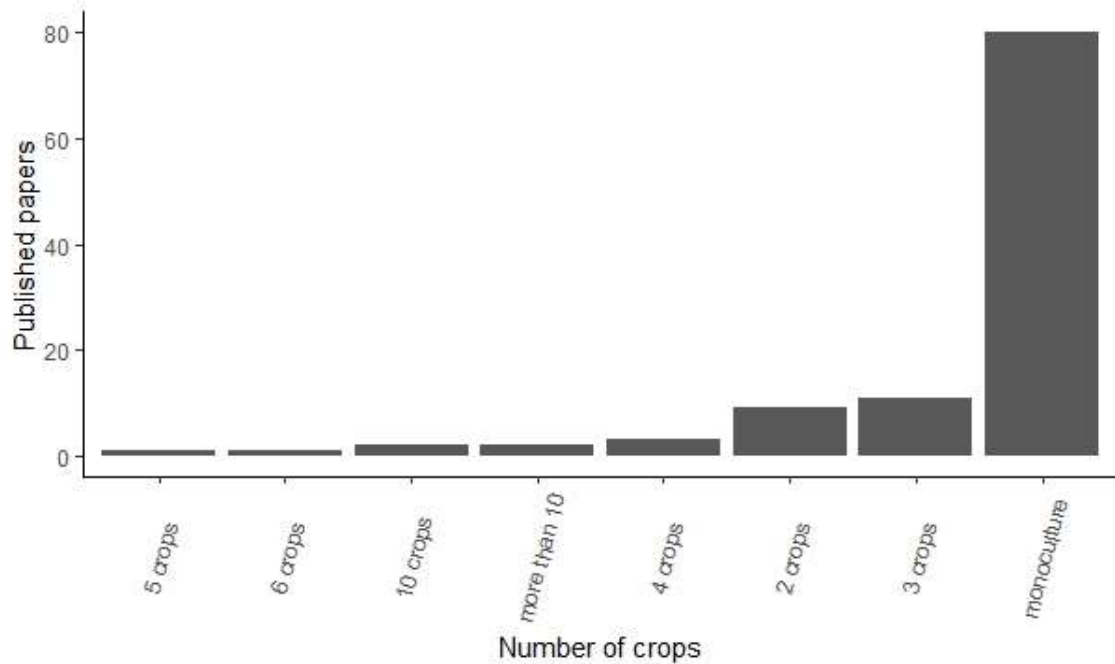


Figura 4 – Número de artigos publicados por quantidade de cultivos amostrados nas áreas agrícolas.

Os tipos de enriquecimento floral mais estudados são faixas de flores silvestres (12%), disponibilidade de recursos florais não plantados (12%), faixas de flores (10%), cercas vivas (10%) e cultivos de floração em massa (0.7%). A maioria dos trabalhos buscou apenas abelhas (75%), dentre estes, os trabalhos buscaram apiformes em geral (66%), apiformes e honeybees (4%) e *Bombus* spp. (8%). Outros grupos mais buscados em conjunto com as abelhas foram Syrphidae (4%) e Lepidoptera (3%).

Para classificar se os cultivos principais eram cultivos de floração em massa nós utilizamos informações do próprio artigo ou classificamos a partir da espécie informada. Quando os cultivos do estudo foram definidos de maneira genérica, como “campos de cereais”, “cultivos”, “horticultura”, não foi possível fazer a classificação (25%). Do total de trabalhos que foram classificados, 68% não foram desenvolvidos em cultivos de floração em massa, 25% eram em cultivos de floração em massa e 6% tinham pelo menos um cultivo de floração em massa dentre os cultivos onde o trabalho foi desenvolvido.

Apenas 30% dos trabalhos reportaram o tamanho do cultivo estudado. Destes, 17% possuem menos de 1 hectare, 44% têm entre 1 e 10 hectares, 8% de 10 a 20 hectares e apenas 4% foram realizados em áreas com mais de 20 hectares. Mais da metade dos trabalhos foram executados em áreas com enriquecimento floral implementado em até dois anos (58%) e apenas 8% em áreas com mais de 10 anos (fig. 5). Apenas 7 trabalhos classificaram os

recursos implementados em recentes (5) e maduros (2). A duração da amostragem dos trabalhos variou de 1 a 10 anos, com maior volume de trabalhos com amostragem de 1 a 3 anos (fig.6). O número de eventos amostrais variou de 2 a 30, com predominância de coletas com 2 a 9 dias de amostragem (fig. 7). Com relação aos meses, as coletas se concentraram nos meses de abril a setembro, coincidindo com a primavera e o verão dos países temperados (fig. 8).

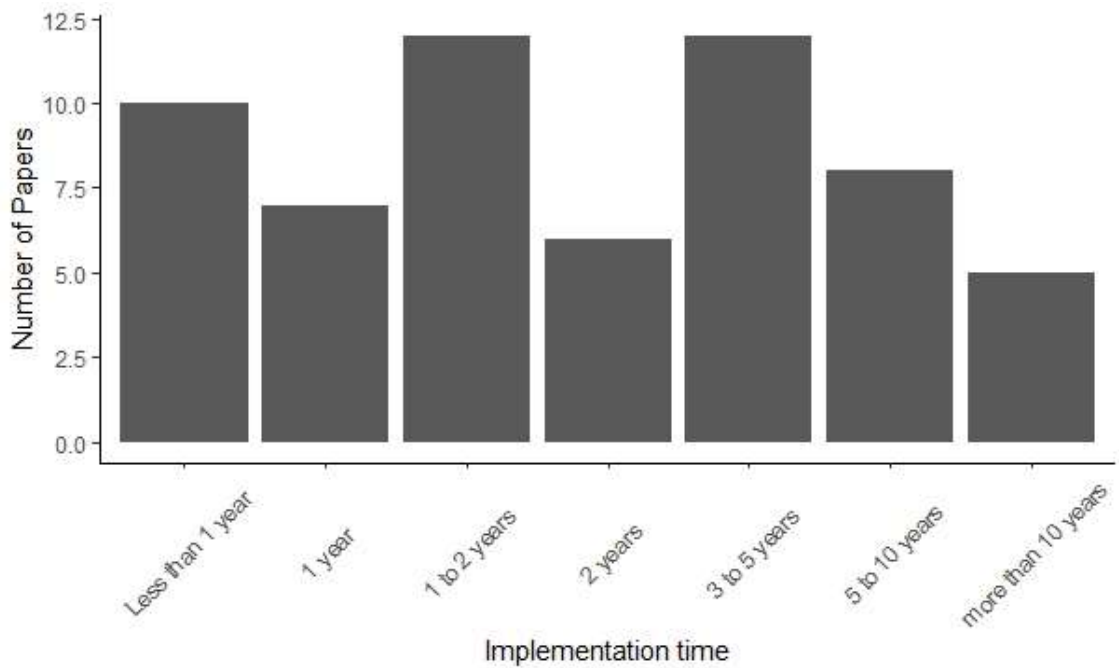


Figura 5 – Número de artigos publicados por tempo de implantação do enriquecimento floral nos estudos.

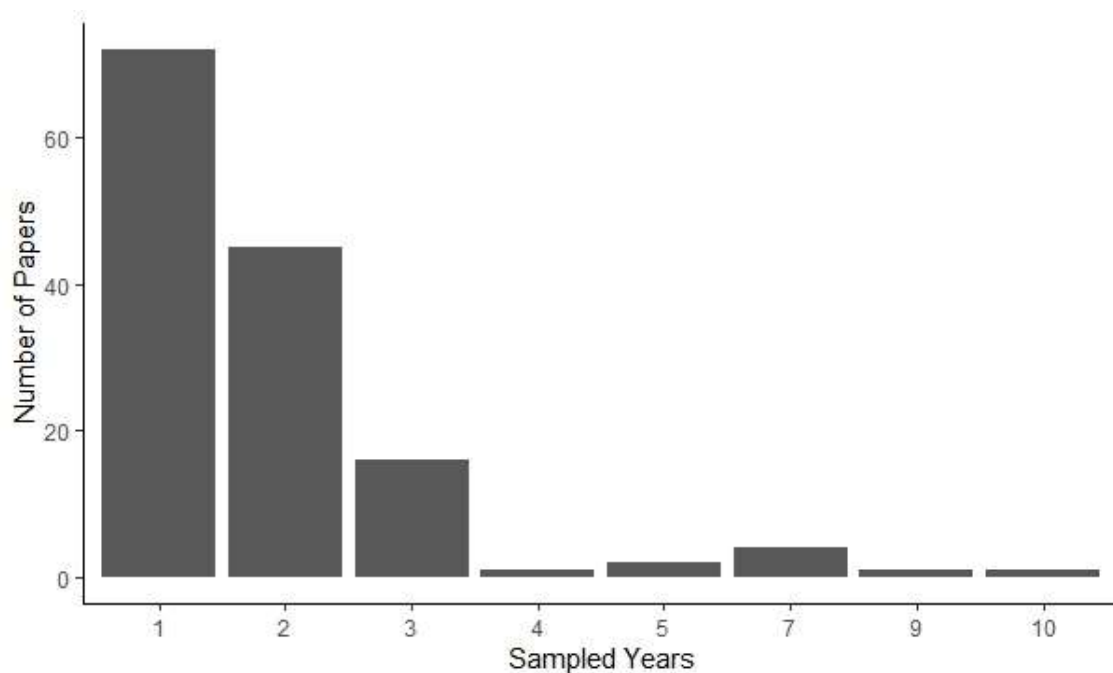


Figura 6 – Número de artigos publicados por duração de amostragem nos trabalhos expressa em anos

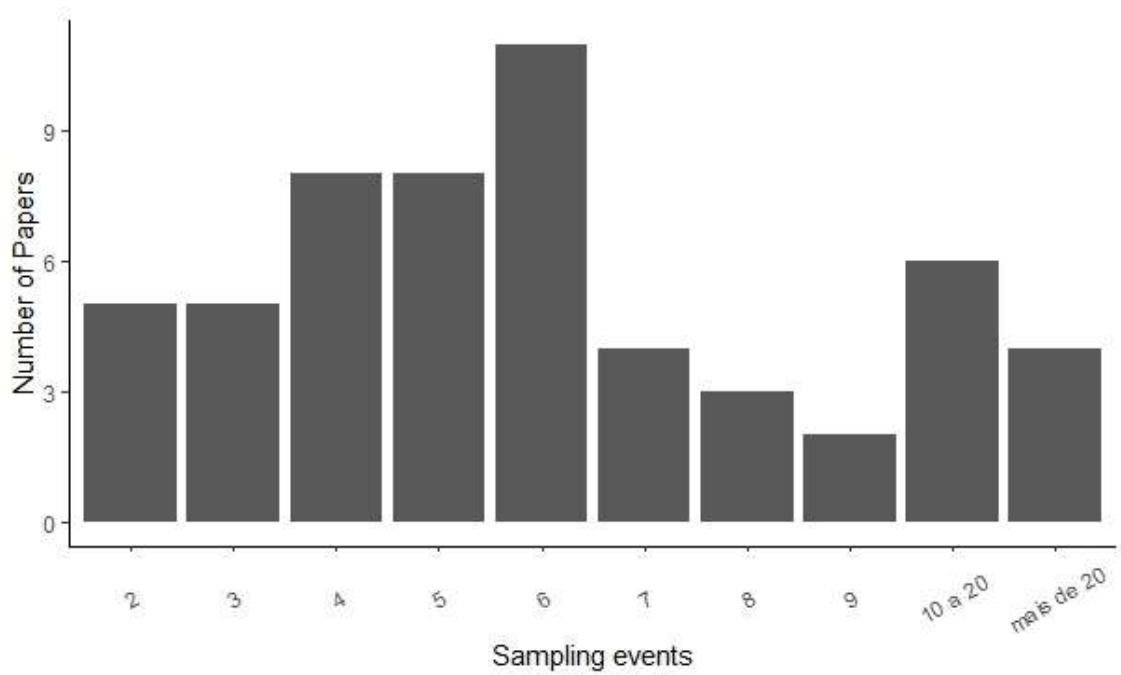


Figura 7 – Número de artigos publicados por duração de amostragem nos trabalhos expressa por eventos amostrais.

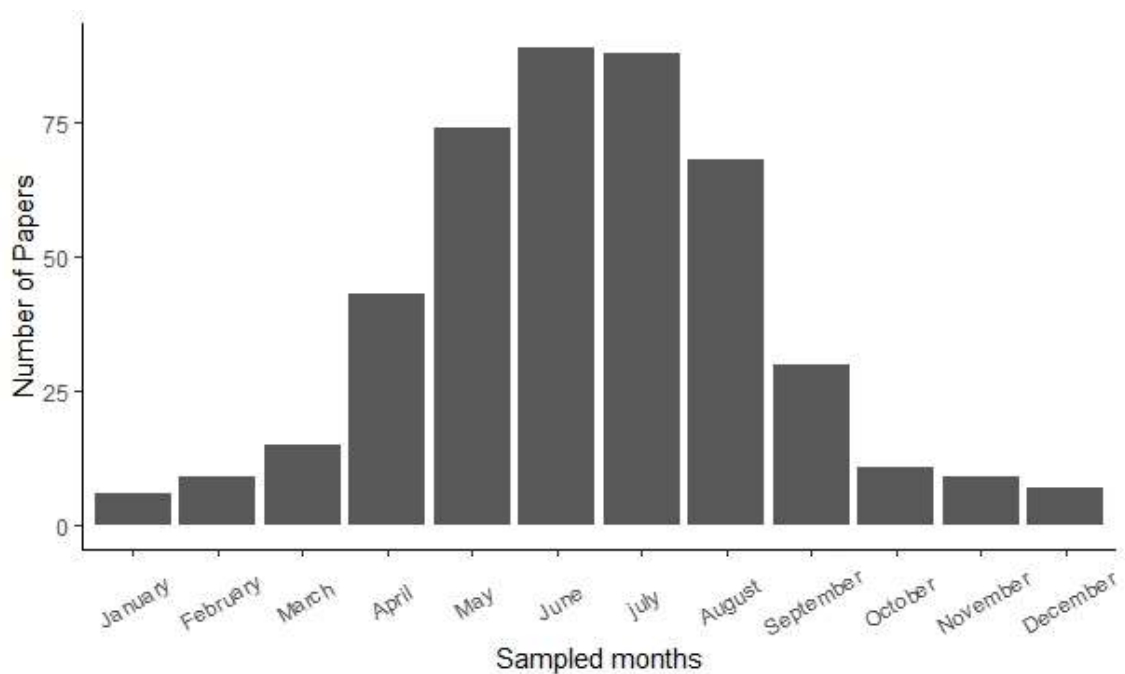
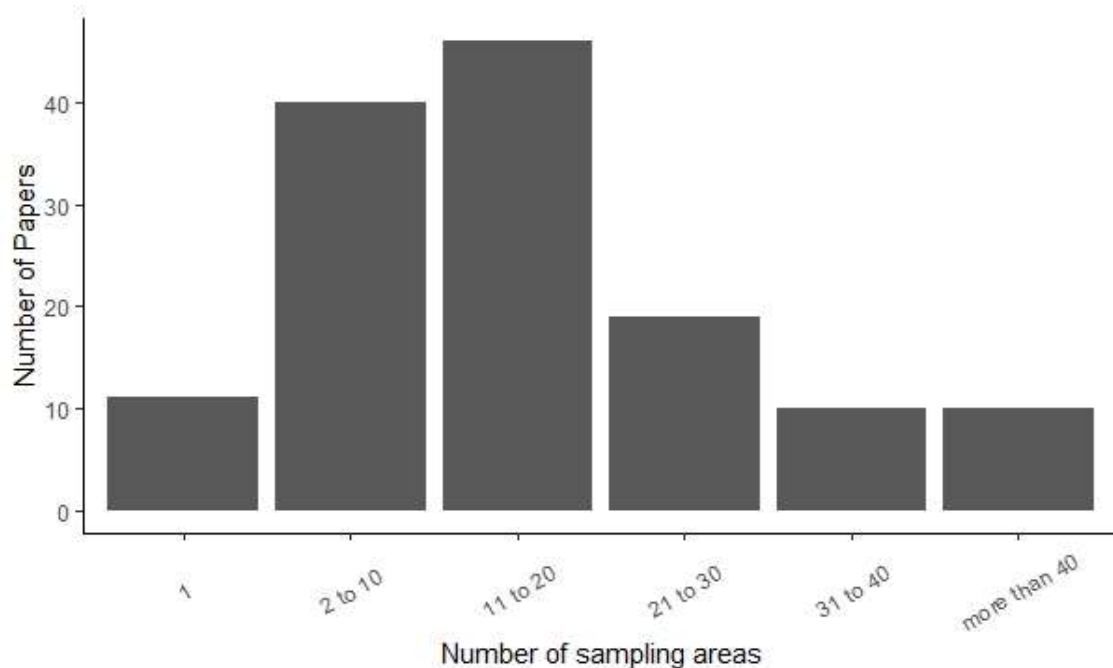


Figura 8 – Número de artigos publicados por duração de amostragem nos trabalhos expressa em meses

Com relação à metodologia de coleta, 66% dos trabalhos utilizaram exclusivamente uma metodologia e 44% utilizaram mais de uma. As metodologias mais utilizadas são redes entomológicas (aerial net/netting/sweepe net/hand netting/nets/entomological net) e observação (observation/focal observation/timed observation), sendo aplicadas em 29% e 28% dos trabalhos, respectivamente. Armadilhas do tipo pantrap foram utilizadas em 14% dos trabalhos, todas as outras metodologias citadas tiveram menos de 10% de uso reportado.

A maioria dos trabalhos encontrados (72%) desenvolveu o estudo considerando apenas a escala local, 24% abrangeu a escala local e regional e poucos trabalhos analisaram o enriquecimento floral sob a perspectiva da paisagem (4%). A quantidade de áreas amostradas nas pesquisas geralmente variou de 1 a 702 áreas, a maioria dos trabalhos (70%) amostrou entre 1 e 20 áreas (fig. 9).

Figura 9 – Número de artigos publicados por número de áreas amostradas nas áreas agrícolas.

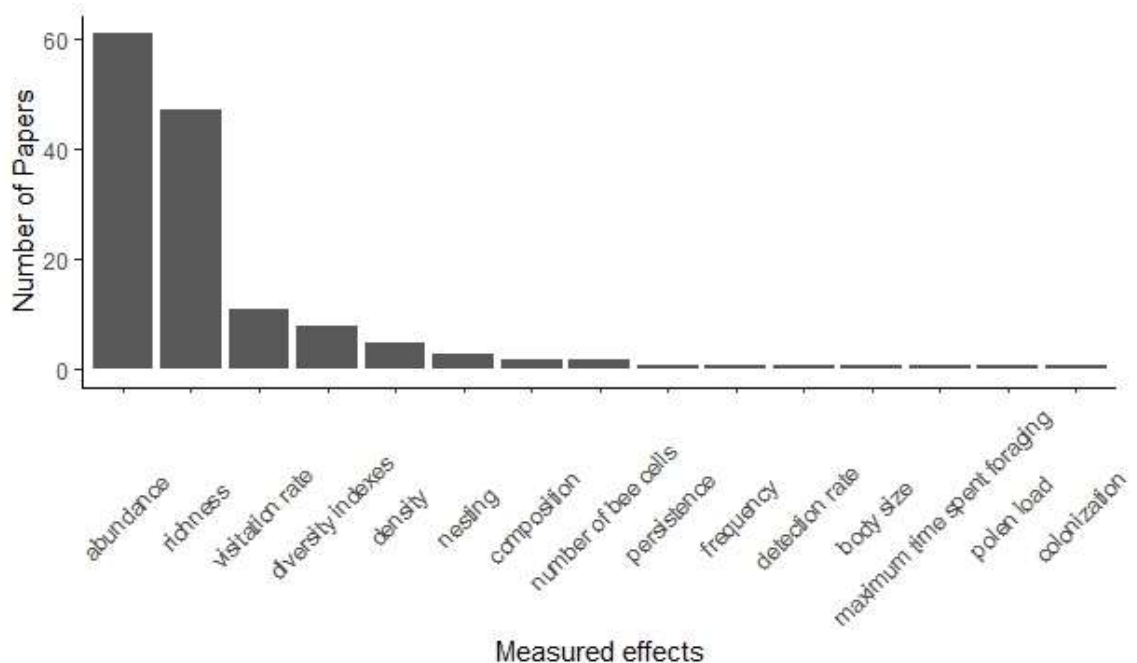


Os trabalhos que amostraram abelhas nos recursos florais alternativos ao cultivo principal totalizam mais da metade de todos artigos analisados (58%), enquanto 15% dos trabalhos coletaram apenas nos cultivos e 26% em ambos os recursos disponíveis. A amostragem de abelhas ocorreu na florada do cultivo principal em 32% dos trabalhos e fora da florada em 4%, poucos trabalhos coletaram durante a florada do recurso alternativo (4%) e 9% dos trabalhos realizaram coletas tanto na florada quanto fora da florada do cultivo

principal. Metade dos artigos não relatou o período de coleta em relação à floração dos cultivos.

As variáveis mensuradas na assembleia de abelhas mais frequentes nos trabalhos foram abundância (42%), riqueza (32%), visitação (8%), índices de diversidade (6%) e densidade (3%) (fig. 10). Juntas, estas variáveis totalizam mais de 90% dos trabalhos. Nós selecionamos os trabalhos que mensuraram abundância e riqueza (100) e fizemos uma contagem de votos acerca dos efeitos que o enriquecimento teve sobre estas variáveis. Encontramos efeito positivo sobre riqueza (71%) e abundância (74%) na maioria dos trabalhos, seguidos por efeitos neutros (riqueza 25%, abundância 22%) e negativos (riqueza 3%, abundância 4%).

Figura 10 – Número de artigos publicados em relação aos efeitos do enriquecimento floral mensurados na assembleia de abelhas.



As informações referentes a estação de coleta (seca/chuvosa) (16%), se espécies invasoras foram consideradas nas análises (19%) e o custo de implantação dos recursos florais (2%) foram reportados em menos de 20% dos trabalhos e, portanto, não serão reportados aqui.

Discussão e Conclusão

Esta revisão sistemática mostrou que o efeito do enriquecimento de recursos florais em áreas agrícolas sobre a diversidade de abelhas no mundo começou a ser desenvolvido recentemente, durante os últimos 20 anos. Neste período, a maioria do conhecimento foi

produzida em países temperados, de forma que a literatura científica não contempla satisfatoriamente os ambientes agrícolas em regiões tropicais, responsável por grande parte da biodiversidade do mundo (Hawkins et al., 2007). A maioria dos estudos estava inserida em áreas de floresta e foi conduzida em monocultivos (maçã, cereais, vinhedos e trigo), com poucos trabalhos sobre cada tipo de cultivo. As técnicas mais utilizadas são o plantio de flores (silvestres ou não), disponibilidade de flores não plantadas, cercas vivas e cultivos de floração em massa. Esta é a primeira síntese sobre o tema que considera os tipos de cultivo onde foi implantado o enriquecimento e várias técnicas de enriquecimento floral. Observamos nesta síntese que é preciso investir em produção de conhecimento sobre os efeitos do enriquecimento floral considerando o tipo de cultivo e as condições climáticas da região estudada, uma vez que estes fatores podem influenciar o resultado obtido e, conseqüentemente, a escolha da técnica mais adequada para a conservação das abelhas.

A escassez de trabalhos desenvolvidos em ambientes agrícolas com intuito de incrementar a diversidade de abelhas não reflete a necessidade atual de minimizar a perda da biodiversidade porque a perda de habitat e as mudanças nos usos do solo são os principais fatores responsáveis pela perda de biodiversidade mundial e os Hymenoptera estão entre os táxons mais afetados (Sanchez-Bayo and Wyckhuys, 2019; Chase et al., 2020). A conversão de ambientes naturais em ambientes agrícolas causa mudanças estruturais na paisagem que reduzem a diversidade de recursos florais e afetam a abundância, saúde e a diversidade filogenética de abelhas e do serviço de polinização, especialmente em ambientes intensamente manejados (Kremen et al., 2007, Potts et al., 2010, Winfree 2010, Newbold et al., 2015; Grab et al., 2019). Dessa forma, a mitigação do impacto dos ambientes agrícolas deve receber maior atenção.

As publicações analisadas apresentam um viés que favorece o conhecimento sobre monoculturas, seguindo o padrão histórico da produção convencional. Mais recentemente, a partir de 2012, o campo de pesquisa avançou para a investigação do efeito do enriquecimento floral nos policultivos, que são cultivos diversificados numa mesma área, embora a maioria dos trabalhos ainda se concentrem em áreas de monoculturas. O sistema de monocultura prometeu um grande avanço na produção mundial de alimentos, priorizando a especialização e a eficiência produtiva (Tilman et al., 2002). Em contrapartida, intensificou problemas ambientais e ecológicos como a degradação do solo ((Pacheco et al., 2018)), perda da biodiversidade (Nicholls & Altieri, 2013) e poluição da água (Sebilo et al., 2013), principalmente em países em desenvolvimento (Pretty & Bharucha, 2014). Esse viés sugere que as pesquisas científicas foram direcionadas para as monoculturas em detrimento de outras

abordagens possíveis. Dessa forma, é importante considerar que a concentração de estudos em monoculturas pode ter limitado a compreensão sobre outras formas de produção agrícola. Uma vez que os aspectos prejudicados pela monocultura são melhorados com o policultivo, como a fertilidade e proteção do solo, a regulação do clima, a polinização, o controle de pragas e a estética da paisagem (Weißhuhn et al., 2017), é necessário ampliar o escopo de investigação científica para abarcar uma maior diversidade de sistemas de produção e enriquecer o conhecimento sobre as suas particularidades e potencialidades.

Os periódicos que publicam neste tema abordam as temáticas Agricultura, Conservação, Ecologia e Entomologia. Entretanto, as revistas que abordam o tema Agricultura são representadas apenas por quatro periódicos: *Agriculture, Ecosystems and Environment* (16.9%), *Agricultural and Forest Entomology* (6%), *Agronomy* (0.02%) e *Frontiers in Sustainable Food Systems* (0.02%). A pouca representatividade de revistas com o tema Agricultura demonstra que ainda há pouco interesse deste público pela conservação da diversidade de abelhas, no âmbito da publicação acadêmica. Embora, *Agriculture, Ecosystems and Environment* e *Agricultural and Forest Entomology* sejam revistas proeminentes, com alto fator de impacto e relevância científica, e contenham aproximadamente 23% das publicações sobre o tema, é essencial ampliar a rede de publicações para alcançar uma maior diversidade de avaliadores, perspectivas e soluções.

Ao analisar os trabalhos publicados por cultivo, observamos que dentre os cultivos mais estudados, a maçã, o trigo e os cereais em geral estão entre os 16 cultivos mais produzidos no mundo (IPBES, 2016). Enquanto os cereais não dependem de polinização, a reprodução da maçã é altamente dependente de polinizadores (Klein et al., 2007). Assim, o conhecimento gerado sobre enriquecimento floral em cultivos de maçãs e cereais é muito relevante e tem o potencial de melhorar a produtividade e a conservação da biodiversidade de polinizadores. No entanto, ao analisarmos a distribuição de trabalhos por cultivo, percebemos que há pouca informação disponível sobre esses cultivos em particular, com poucos estudos disponíveis para cada tipo. Dado o contexto atual de aumento populacional e demanda crescente por alimentos diversificados (Nações Unidas, 2019), é crucial expandir o conhecimento sobre as diversas culturas cultivadas e consumidas no mundo.

O centro de origem de muitos dos cultivos mais importantes do mundo é a zona tropical (Morales, 2010), e a agricultura tem se expandido especialmente em áreas que antes abrigavam florestas tropicais e subtropicais (Curtis et al., 2018; Foley et al., 2011), entretanto, mais de 80% dos trabalhos publicados sobre o assunto foram realizados em países de clima temperado. Dos principais produtores agrícolas do mundo, apenas os Estados Unidos

apresentam uma quantidade relevante de trabalhos, enquanto China, Índia e Brasil possuem até três trabalhos cada. A escassez de dados nos países que mais contribuem para a produção global de alimentos revela uma lacuna no conhecimento e uma oportunidade de avançar na compreensão da dinâmica entre polinizadores, cultivos e enriquecimento floral. É necessário, também, realizar estudos em regiões como a África e a América do Sul para compreender os gradientes latitudinais e refinar os padrões observados (Kral-O'brien 2020). Isso porque as regiões tropicais e temperadas apresentam diferenças significativas em termos de clima, diversidade de polinizadores e plantas (Hawkins et al., 2007), o que pode implicar em estratégias distintas de enriquecimento floral. No entanto, é importante notar que os resultados obtidos podem ser afetados por um viés de publicação em favor de países que publicam mais em inglês do que em suas línguas nativas. Sendo assim, a falta de trabalhos científicos sobre o assunto nos países tropicais e na China pode não refletir completamente a realidade do conhecimento existente.

Poucos trabalhos reportaram o tamanho do cultivo estudado e dos que disponibilizaram essa informação, 61% possuem menos de 10 hectares. Desta forma, a informação disponível sobre a eficiência do enriquecimento floral é referente a pequenas propriedades. Considerando que mais de 2 bilhões de pessoas dependem da agricultura familiar (menor do que 2 hectares) e que este sistema de produção foi negligenciado na pesquisa acadêmica em países em desenvolvimento (FAO, 2014), este é um bom resultado porque indica que estamos avançando na compreensão de outros sistemas de produção. Entretanto, pequenas e grandes propriedades apresentam diferentes respostas à intensificação ecológica, por exemplo, áreas maiores precisam de um incremento maior na riqueza de polinizadores para obter benefícios na produtividade do cultivo (Garibaldi et al., 2016) e podem demandar abordagens diferenciadas para alcançar eficiência na preservação de abelhas.

Considerando a crescente demanda pela produção de cultivos de floração em massa, como a canola (*Brassica napus* L.) que é comercialmente utilizada por causa de seu óleo e também para produção de biocombustíveis (FAO, 2015), nós levantamos a quantidade de trabalhos desenvolvidos nestes cultivos e vimos que totalizam 25% dos trabalhos analisados onde foi possível fazer a classificação. Estes tipos de trabalhos são importantes para investigar os padrões dos polinizadores em cultivos de floração em massa, uma vez que tais cultivos atraem muitas abelhas generalistas, como *Apis mellifera*, e podem competir por polinizadores com as plantas nativas (Montero-Castaño et al., 2016).

A amostragem dos trabalhos foi predominantemente de até 3 anos, com predominância de 2 a 9 dias de coleta, em até 20 áreas, principalmente na primavera e verão do hemisfério

norte. Esse padrão reflete dificuldades logísticas da realização de trabalhos que envolvem áreas agrícolas, pois estes trabalhos dependem de autorização de produtores, acesso a propriedades particulares, e dependem muitas vezes do período de floração do cultivo estudado. Podemos observar também que os estudos priorizam o período do ano com maior atividade das abelhas, entretanto, seria interessante compreender o efeito do enriquecimento floral no inverno e outono, se a complementariedade temporal oferecida tem impacto positivo na assembleia de abelhas. Para minimizar a coleta dos indivíduos, os trabalhos nestes períodos deveriam priorizar metodologias não invasivas, como observação e captura-marcação-recaptura.

Os métodos mais utilizados pelos trabalhos analisados foram redes entomológicas e observação, com predominância do uso de apenas uma metodologia. Entretanto, essas metodologias podem carregar um grande viés da pessoa que conduz a coleta e não captura tantos indivíduos comparado a metodologias passivas (Westphal et al. 2008). Além disso, a combinação de metodologias de coleta é mais eficiente para amostrar a diversidade de insetos (Campbel et al., 2023). Dessa forma, a inclusão de metodologias variadas para amostrar abelhas em áreas agrícolas pode aumentar nosso conhecimento sobre a diversidade desses locais e sobre o potencial de preservação do enriquecimento floral. Devido aos poucos trabalhos realizados em escala regional, a inclusão da perspectiva da paisagem também é interessante para ser observada na elaboração do desenho amostral dos trabalhos, uma vez que a polinização é afetada pela estrutura da paisagem (Saturni et al., 2016) e com esses dados poderemos investigar se o efeito do enriquecimento floral também é dependente da escala espacial.

Nós observamos que tanto os trabalhos que amostraram abelhas no cultivo principal e/ou nos recursos florais, quanto os que amostraram durante a florada do cultivo totalizam mais de um terço dos trabalhos (41%). Estes dados podem nos informar sobre o potencial do enriquecimento floral para incrementar a polinização dos cultivos através da manutenção da diversidade de abelhas. Entretanto, uma pequena parcela dos estudos amostrou tanto durante a floração quanto antes ou após (9%). Este tipo de estudo é necessário para compreender a relação de complementariedade temporal entre os recursos alternativos e os recursos florais do cultivo principal e como essa dinâmica afeta a assembleia de abelhas. A maioria dos trabalhos foram executados em áreas com enriquecimento floral implementado em até dois anos (58%) e recursos florais mais antigos são geralmente mais eficientes para incrementar a diversidade de polinizadores (Albrecht et al., 2020), embora existam evidências de que a efetividade de faixas de flores diminui depois de dois ou três anos devido a redução da

riqueza e abundância de flores (Albrecht et al, 2021). Dessa forma, os efeitos associados ao enriquecimento floral podem estar subestimados pelo viés da amostragem.

Para avaliar o efeito do enriquecimento sobre as abelhas, as principais variáveis utilizadas são abundância e riqueza (74%), o que faz com que estas medidas sejam as mais comparáveis entre os estudos. Taxa de visitação é pouco utilizada e depende da expertise do observador para se obter um nível elevado de identificação taxonômica, entretanto, é uma metodologia que pode ser utilizada como uma medida para mensurar a polinização (Aguilar et al., 2006) e é simples de ser executada para classificar grupos fáceis de serem identificados a olho nu, como a espécie invasora *Apis mellifera* e grupos de abelhas grandes como os gêneros *Xylocopa* e *Bombus*, além das abelhas mais abundantes no local, que geralmente são mais conhecidas.

Aumentar a diversidade floral é uma estratégia frequentemente utilizada para aumentar a diversidade de polinizadores (Blaauw and Isaacs 2014, Kral-O'Brien et al. 2019). As decisões sobre o manejo de recursos florais em agroecossistemas com intuito de incrementar a riqueza de polinizadores devem considerar a seleção de plantas (Kral-O'Brien et al., 2021), e o ecossistema e vegetação nativa pois o habitat do entorno afeta a riqueza e diversidade funcional de polinizadores em cercas vivas (Kremen et al., 2018). Os artigos disponibilizam pouca informação sobre o ecossistema (38%) e a vegetação nativa (11%) dos ambientes estudados, o que dificulta a replicação de técnicas e políticas, uma vez que sua aplicabilidade e a implantação serão afetadas pelas características do local. Outras características ambientais e do próprio cultivo que podem influenciar a resposta da comunidade de polinizadores e foram pouco reportadas nos estudos são a estação de coleta (seca/chuvosa) (16%), se espécies invasoras foram consideradas nas análises (19%) e o custo de implantação dos recursos florais (2%) (menos de 20% dos artigos reportaram a informação). Estas informações são cruciais para a escolha da técnica de enriquecimento que seria mais eficiente em cada ambiente.

As técnicas de enriquecimento mais estudadas são as faixas de flores (silvestres e não silvestres), a disponibilidade de recursos florais não plantados, faixas de flores, cercas vivas e culturas de floração em massa. Diversos fatores relacionados a cada técnica devem ser considerados para escolher um tipo de enriquecimento floral. O custo econômico é uma questão relevante para tomada de decisão e políticas públicas, mas dados sobre o custo de implantação e manejo da maioria das estratégias não foram reportados na maioria dos trabalhos. Apenas a disponibilidade de recursos florais não plantados não apresenta custos de implantação e de manejo pois consiste em permitir que as plantas que nascem espontaneamente no local dos cultivos e em suas margens permaneçam e ofereçam recursos

alimentares e de nidificação para as abelhas, aumentando a oferta de recursos florais. Para além do custo, temos pouco conhecimento sobre os fatores que predizem o sucesso da implantação das técnicas na diversidade de polinizadores (Albrecht et al., 2020). Sabemos que a diversidade de plantas promove comunidades diversas de polinizadores devido à complementariedade ao longo do tempo e espaço (Campbell et al., 2012; Scheper et al., 2013; Sutter et al., 2017), entretanto a eficiência da técnica de enriquecimento também é influenciada por outros fatores como tempo de implantação, distância do recurso e o grupo estudado (Kremen et al., 2018; Albrecht et al., 2020). A maioria dos estudos investigou apenas a resposta de abelhas e dentro de abelhas existem poucos grupos taxonômicos analisados separadamente. A resposta destes grupos (e.g. *Bombus* spp., abelhas solitárias, abelhas que nidificam em cavidades, *Euglossini* spp.) à disponibilidade de recursos florais pode ser diferente pelas especificidades das demandas de recursos de cada grupo (Michener 2007). Desta forma, ainda precisamos refinar as informações reportadas para ter um arcabouço teórico que sustente a tomada de decisão atendendo às peculiaridades locais.

Este é um assunto recente e em ascensão e com a maioria das publicações sendo encontradas em periódicos de alto impacto. O tema tem despertado interesse de boas revistas que publicam sobre alimentos e sobre conservação de diversidade, uma vez que o tema é interdisciplinar e que dá suporte para avançar na conciliação das demandas crescentes por produtos agrícolas e da preservação da biodiversidade, que estão entre os maiores desafios globais (Godfray et al., 2010). Desta forma, o enriquecimento floral é uma técnica promissora para a mitigação dos impactos negativos da agricultura na diversidade de abelhas, é um tema de grande importância para a preservação da biodiversidade e produção de alimentos em escala global. A pesquisa sobre os efeitos do enriquecimento floral em diferentes condições climáticas e tipos de cultivo é fundamental para a implementação de técnicas mais eficientes para a promoção da diversidade de abelhas. Além disso, é necessário que haja maior interesse e investimento em pesquisas e publicações na área da Agricultura, visando à mitigação dos impactos negativos da produção agrícola na diversidade de abelhas. Juntos, esses esforços podem ajudar a promover o desenvolvimento de práticas agrícolas viáveis ecologicamente e economicamente, com impactos positivos tanto para a biodiversidade quanto para a produção de alimentos.

REFERÊNCIAS

Aguilar, R., Ashworth, L., Galetto L., Aizen, M.A., 2006. Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis. *Ecology Letters*. 9,968–980. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00927.x>.

Albrecht, M., Kleijn, D., Williams, N.M., Tschumi, M., Blaauw, B.R., Bommarco, R., Campbell, A.J., Dainese, M., Drummond, F.A., Entling, M.H., Ganser, D., Arjen de Groot, G., Goulson, D., Grab, H., Hamilton, H., Herzog, F., Isaacs, R., Jacot, K., Jeanneret, P., Jonsson, M., Knop, E., Kremen, C., Landis, D.A., Loeb, G.M., Marini, L., McKerchar, M., Morandin, L., Pfister, S.C., Potts, S.G., Rundlöf, M., Sardiñas, H., Sciligo, A., Thies, C., Tschamtker, T., Venturini, E., Veromann, E., Vollhardt, I.M.G., Wäckers, F., Ward, K., Westbury, D.B., Wilby, A., Woltz, M., Wratten, S., Sutter, L., 2020. The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: a quantitative synthesis. *Ecology Letters*. 23,1488-1498. <https://doi.org/10.1111/ele.13576>.

Albrecht M., Kleijn D., Williams N.M., Tschumi M., Blaauw B.R., Bommarco R., Campbell A.J., Dainese M., Drummond F.A., Entling M.H., et al., 2021. The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: a quantitative synthesis. *Ecol Lett*, 10,1488-1498. <https://doi.org/10.1111/ele.13576>.

Montero-Castaño, A., Ortiz-Sánchez, F.J., Montserrat Vilà, 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>.

Blaauw, B. R., Isaacs R., 2014. Larger patches of diverse floral resources increase insect pollinator density, diversity, and their pollination of native wildflowers. *Basic Appl. Ecol.* 15,701–711. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2014.10.001>.

Campbell, A.J., Biesmeijer, J.C., Varma, V., Wäckers, F.L., 2012. Realising multiple ecosystem services based on the response of three beneficial insect groups to floral traits and trait diversity. *Basic Appl. Ecol.* 13, 363– 370. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2012.04.003>.

Campbell, J.W., Abbate, A., West, N.M. et al., 2023. Comparing three collection methods for pollinating insects within electric transmission rights-of-ways. *J Insect Conserv.* <https://doi.org/10.1007/s10841-023-00460>.

Chase, J.M., Blowes, S.A., Knight, T.M., Gerstner, K., May, F., 2020. Ecosystem decay exacerbates biodiversity loss with habitat loss. *Nature*. 584, 238–243. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2531-2>.

Fastré, C., Zeist, W., Watson, J.E.M., Visconti P., 2021. Integrated spatial planning for biodiversity conservation and food production. *One Earth*. 4(11), 1635-1644. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.10.014>.

Crews, T. E., Carton, W., Olsson, L., 2018. Is the future of agriculture perennial? Imperatives and opportunities to reinvent agriculture by shifting from annual monocultures to perennial polycultures. *Global Sustainability*. 1, e11. <https://doi.org/10.1017/sus.2018.11>.

Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J.S., Johnston, M., Nathaniel D. Mueller, 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>.

Garibaldi, L., Carvalheiro, L., Vaissiere, B., Gemmill-Herren, B., Hipolito, J., Freitas, B. et al. (2016). Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science*, 351, 388–391.

Garibaldi, L.A., Carvalheiro, L.G., Vaissiere, B.E., Gemmill-Herren, B., Hipolito, J., Freitas, B.M., Ngo, H.T., Azzu, N., Saez, A., Astrom, J., An, J., Blochtein, B., Buchori, D., Garcia, F.J.C., Oliveira da Silva, F., Devkota, K., Ribeiro d, M.F., Freitas, L., Gaglianone, M.C., Goss, M., Irshad, M., Kasina, M., Filho, A.J.S.P., Kiill, L.H.P., Kwapong, P., Parra, G.N., Pires, C., Pires, V., Rawal, R.S., Rizali, A., Saraiva, A.M., Veldtman, R., Viana, B.F., Witter, S., Zhang, H., 2016. Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science*. 80(351), 388–391. <http://dx.doi.org/10.1126/science.aac7287>.

Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M., Toulminet, C., 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*. 327, 812–818. DOI: 10.1126/science.1185383.

Grab, H., Branstetter, M.G., Amon, N., Urban-Mead, K.R., Park, M.G., Gibbs, J., Blitzer, E. J., Poveda, K., Loeb, G., Danforth, B.N., 2019. Agriculturally dominated landscapes reduce bee phylogenetic diversity and pollination services. *Science*. 363, 282–284. DOI: 10.1126/science.aat6016.

Grames, E.M., Stillman, A.N., Tingley, M.W., Elphick, C.S., 2019. An automated approach to identifying search terms for systematic reviews using keyword co-occurrence networks. *Methods Ecol Evol*. 10, 1645–1654. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13268>.

Hawkins, B.A., Albuquerque, F.S., Araújo, M.B., Beck J., Bini L.M., Cabrero-Sañudo, F.J., Castro-Parga, I., Diniz-Filho, J.A.F., Ferrer-Castán, D., Field, R., Gómez, J.F., Hortal, J.,

Kerr, J.T., Kitching, I.J., León-Cortés, J.L., Lobo, J.M., Montoya, D., Moreno, J.C., Olalla-Tárraga, M.A., Pausas, J.G., Qian, H., Rahbek, C., Rodríguez, M.A., Sanders, N.J., Williams, P., 2007. A global evaluation of metabolic theory as an explanation for terrestrial species richness gradients. *Ecology*. 88(8),1877–1888.

IPBES (2016). The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. S.G. Potts, V. L. Imperatriz-Fonseca, and H. T. Ngo (eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 552 pages.

Isaacs, R., J. Tuell, A. Fiedler, M. Gardiner, and D. Landis. 2009. Maximizing arthropod-mediated ecosystem services in agricultural landscapes: the role of native plants. *Front. Ecol. Environ.* 7,196–203.

J., Zamorano, Bartomeus, I., Grez, A.A., Garibaldi L.A., 2020. Field margin floral enhancements increase pollinator diversity at the field edge but show no consistent spillover into the crop field: a meta-analysis. *Insect conservation and diversity*. 13, 519-531. doi: 10.1111/icad.12454.

Kral-O'Brien, K.C., O'Brien, P.L., Hovick, T.J., Harmon, J.P., 2021. Meta-analysis: higher plant richness supports higher pollinator richness across many land use types. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 114(2), 267–275. <https://doi.org/10.1093/aesa/saaa061>.

Kok, M.T.J., Alkemade, R., Bakkenes, M., van Eerdt, M., Janse, J., Mandryk, M., Kram, T., Lazarova, T., Meijer, J., van Oorschot, M., Westhoek, H., van der Zagt, R., van der Berg, M., van der Esch, S., Prins, A.G., van Vuuren, D. P., 2018. Pathways for agriculture and forestry to contribute to terrestrial biodiversity conservation: A global scenario-study. *Biological Conservation*. 221,137-150.

Kovács-Hostyánszki, A., Espíndola, A., Vanbergen, A.J., Settele, J., Kremen, C., Dicks, L.V., 2017. Ecological intensification to mitigate impacts of conventional intensive land use on pollinators and pollination. *Ecol Lett*. 20(5):673-689. doi: 10.1111/ele.12762.

Kovács-Hostyánszki, A., Espíndola, A., Vanbergen, A.J., Settele, J., Kremen, C. and Dicks, L.V., 2017. Ecological intensification to mitigate impacts of conventional intensive land use on pollinators and pollination. *Ecol Lett*, 20,673-689. <https://doi.org/10.1111/ele.12762>.

Kral-O'Brien, K. C., Limb, R. F., Hovick, T. J., Harmon, J.P., 2019. Compositional shifts in forb and butterfly communities associated with Kentucky bluegrass invasions. *Rangeland Ecol. Manag.* 72,301–309. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2018.10.003>.

Kremen, C., M’Gonigle, L.K., Ponisio, L.C., 2018. Pollinator Community Assembly Tracks Changes in Floral Resources as Restored Hedgerows Mature in Agricultural Landscapes. *Front. Ecol. Evol.* 6:170. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00170>.

Kremen, C., Williams N. M., Aizen M. A., Gemmill-Herren B., LeBuhn, G., Minckley, R., Packer, L., Potts, S. G., Roulston, T., Steffan-Dewenter I., et al., 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecol. Lett.* 10: 299–314. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01018.x>

Sutter L., Jeanneret, P., Bartual, A.M., Bocci, G., Albrecht, M., 2017. Enhancing plant diversity in agricultural landscapes promotes both rare bees and dominant crop-pollinating bees through complementary increase in key floral resources. *J. Appl. Ecol.* 54,1856-1864. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12907>.

Curtis, P. G., Slay, C. M., Harris, N. L., Tyukavina, A., Hansen, M. C., 2018. Classifying drivers of global forest loss. *Science.* 361,1108–1111. <https://doi.org/10.1126/science.aau3445>.

Lowe, E.B., Groves, R., Gratton, C., 2021. Impacts of field-edge flower plantings on pollinator conservation and ecosystem service delivery – A meta-analysis. *Agric Ecosyst Environ.* 310,107290. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107290>.

Michener, C.D., 2007. *The Bees of the World*. 2nd Edition, John Hopkins University Press, Baltimore.

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D.G., 2009. The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med.* 6(7):e1000097. doi:10.1371/journal.pmed1000097.

Naug, D., 2009. Nutritional stress due to habitat loss may explain recent honeybee colony collapses. *Biol. Conserv.* 142,2369–2372. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.04.007>.

Newbold, T., Hudson, L., Hill, S. et al., 2015. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature.* 520,45–50. <https://doi.org/10.1038/nature14324>.

Newbold, T., Hudson, L.N., Hill, S.L.L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R.A., Borger, L., Bennett, D.J., Choimes, A., Collen, B., Day, J., De Palma, A., Diaz, S., Echeverria-Londono, S., Edgar, M.J., Feldman, A., Garon, M., Harrison, M.L.K., Alhusseini, T., Ingram, D.J., Itescu, Y., Kattge, J., Kemp, V., Kirkpatrick, L., Kleyer, M., Correia, D.L. Nicholls, C. I., & Altieri, M. A., 2013. Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in

agroecosystems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 33(2),257–274. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0092-y>.

Pacheco, F. A. L., Sanches Fernandes, L. F., Valle Junior, R. F., Valera, C. A., & Pissarra, T. C. T., 2018. Land degradation: Multiple environmental consequences and routes to neutrality. *Curr Opin Environ Sci Health.* 5, 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.07.002>.

Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., Kunin, W. E., 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends Ecol. Evol.* 25,345–353.

Pretty, J., Bharucha, Z. P., 2014. Sustainable intensification in agricultural systems. *Annals of Botany.* 114(8),1571–1596. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu205>

Lowder, S. K., Skoet, J., Singh, S., 2014. “What do we really know about the number and distribution of farms and family farms worldwide?” Background paper for the State of Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Sanchez-Bayo, F., Wyckhuys, K.A.G., 2019. Worldwide decline of the entomofauna: a review of its drivers. *Biol. Conserv.* 232, 8–27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>.

Saunders, M.E., Luck, G.W., Mayfield, M.M., 2013. Almond orchards with living ground cover host more wild insect pollinators. *J Insect Conserv.* 17,1011–1025. <https://doi.org/10.1007/s10841-013-9584-6>.

Scheper, J., Holzschuh, A., Kuussaari, M., Potts, S., Rundlöf, M., Smith, H. et al., 2013. Environmental factors driving the effectiveness of European agri-environmental measures in mitigating pollinator loss – a meta-analysis. *Ecol. Lett.* 16, 912– 920. <https://doi.org/10.1111/ele.12128>.

Sebilo, M., Mayer, B., Nicolardot, B., Pinay, G., Mariotti, A., 2013. Long-term fate of nitrate fertilizer in agricultural soils. *Natl Acad Sci Lett.* 110(45), 18185–18189. <https://doi.org/10.1073/pnas.1305372110>.

Shahmohamadloo, R.S., Febria, C.M., Fraser, E.D.G., Sibley, P.K., 2022. The sustainable agriculture imperative: A perspective on the need for an agrosystem approach to meet the United Nations Sustainable Development Goals by 2030. *Integr Environ Assess Manag.* 18(5),1199-1205. <https://doi.org/10.1002/ieam.4558>.

Sutter, L., Jeanneret, P., Bartual, A.M., Bocci, G. & Albrecht, M., 2017. Enhancing plant diversity in agricultural landscapes promotes both rare bees and dominant crop-pollinating bees through complementary increase in key floral resources. *J. Appl. Ecol.* 54, 1856– 1864. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12907>.

Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. 418(6898),671–677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>.

Morales F. J., 2010. Tropical biology and conservation management – Vol. III - Introduction To Tropical Agriculture And Outlook For Tropical Crops In A Globalized Economy. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*.

United Nations, 2019. World population prospects 2019. Department of Economic and Social Affairs, Population Division.

Weißhuhn, P., Reckling, M., Stachow, U., Wiggering, H., 2017. Supporting agricultural ecosystem services through the integration of perennial polycultures into crop rotations. *Sustainability*. 9(12), 2267. <https://doi.org/10.3390/su9122267>.

Westphal, C., Bommarco, R., Carré, G., Lamborn, E., Morison, N., Petanidou, T., Potts, S.G., Roberts, S.P., Szentgyörgyi, H., Tscheulin, T., Vaissière, B.E., 2008. Measuring bee diversity in different European habitats and biogeographical regions. *Ecol Monogr*. 78:653–671. <https://doi.org/10.1890/07-1292.1>.

Winfrey, R., 2010. The conservation and restoration of wild bees. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1195: 169–197. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05449.x>.

Availability of alternative floral resources in coffee crops supports conservation of native bees

Artigo elaborado de acordo com as normas da revista Artigo elaborado de acordo com as normas da revista Renewable Agriculture and Food Systems

Alternative floral resources and bee diversity

Tássia Rayane Ferreira Chagas¹, Carla Rodrigues Ribas¹, Marina Wolowski^{2*}

¹Departamento de Ecologia e Conservação, Instituto de Ciências Naturais, Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), Brazil, CEP 37.200-900

² Instituto de Ciências da Natureza, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas (MG), Brazil, CEP 37.131-593.

* Correspondence to: marina.wolowski@gmail.com

Abstract

Background: Pollinators enhance productivity of global crops and ensure reproduction of wild plants. However, pollinators and the services they deliver are threatened by agricultural expansion and intensification, which causes habitat loss and hinders access to the resources they need to survive and persist, as floral resources. In this study, we evaluated whether local availability of floral resources and management strategy affect diversity of bees, one of the major groups of pollinators. We aimed at understanding how richness, abundance, visitation rate and composition of bee assemblages vary with resource availability and management.

Results: We collected 99 species and 1,216 bees, of which 44% were native species and 56% were *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758). Resource availability positively affect bee visitation rate. When we analysed composition excluding honeybees (*A. mellifera*), Halictini and *Plebeia* spp. abundances increased with resource richness, while decreased with coverage of floral resources. Halictini bees were positively influenced by the transition to organic cultivation. Including honeybee data set, we did no observe the effect of floral resources on species abundances. Honeybees were negatively influenced by the transition to organic farming while Halictini tribe and *Plebeia* spp. were positively affected.

Conclusion: Availability of flowering plants and transition to organic management positively contributed to visitation rate and diversity of bees, especially native bees. We show that perennial crops could offer resources in addition to the flowering of the crop itself and that management measures that allow spontaneous plants to flower are efficient actions to increase bee presence and consequently to achieve a better sustainability in cultivated areas.

Keywords: weeds, flowering plants, bee diversity, Halictini, Meliponini, bee-friendly management

Introduction

Biodiversity supports a series of ecosystem services, including pollination, a regulatory service.^{1,2} Pollinators contribute to human well-being by enhancing the productivity of crops with commercial value directly and indirectly^{2,3} and ensuring the reproduction of wild plants dependent on pollinators.⁴ The diversity of mutualistic interactions performed by pollinators also increases the stability and ecological functions of ecosystems (e.g., productivity and biomass),⁴ in addition to having positive effects on the productivity of agricultural crops.^{5,6} Thus, given the increasing loss of biodiversity,^{7,8} there is an urgent need to stimulate the presence and persistence of pollinators in natural and managed ecosystems.

Changes in land use, such as fragmentation, degradation and habitat loss, are responsible for modifying the availability of resources used by pollinators.^{9,10} The availability and diversity of food and nesting resources are fundamental conditions for the maintenance of bee diversity,¹¹ and the reduction in such resources can cause a decline in pollinating bees in natural and urban environments and agroecosystems.^{12,13,14} Agricultural expansion and intensification cause habitat loss and hinder access to the resources necessary for pollinators, such as floral resources used for feeding and nesting (e.g., nectar and resin), in addition to suitable habitat for nest construction.^{15,16} Such resources may be available seasonally for short periods of time, in perennial crops and in adjacent natural remnants or natural and seminatural areas integrated into the crops.^{15,17} However, the ability of a cultivated area to host pollinators depends on the local management used because management measures influence the availability of resources spatially and temporally.^{14,18,19}

For example, conventional management uses inorganic fertilizers, and it is well-known that large amounts of nitrogen fertilizers have a positive effect on the occurrence of *Apis*

mellifera in bean crops and a negative effect on the productivity of this crop.²⁰ Excess nitrogen causes changes in the composition and structure of floral resources (essential amino acids, alkaloids or flower shape)²¹ that can reduce attractiveness to bees with more specific nutritional requirements.

The temporal complementarity of floral resources in agroecosystems can be used to support a diversity of pollinators, especially bees.²² In this sense, some management techniques are beneficial because they provide complementary food resources throughout the year. Hedgerows, for example, have the potential to contribute to an increase in the diversity of native bees,²³ especially species that nest aboveground,²⁴ but they do not have the same effect on species that nest in the ground.²⁵ Another technique that provides temporal complementarity of resources is planting flowers on the margins of crops, and this technique appeals to producers and is noted in scientific literature for the low cost of its implementation and its use on arable land.²⁶

However, considering that cost is a limiting factor for agricultural management decisions, maintaining spontaneous plants that grow between the rows of crops is a minimally explored resource that would benefit bee diversity. Plants used for soil cover on coffee plantations show a positive association with bee abundance,^{22,27} and the maintenance of flowers that occur spontaneously is inexpensive, making this approach attractive; however, we do not know the effect of such resources on the resources required by bees.

Thus, considering that enriching the environment with floral resources, such as corridors and cover crops, increases the probability of pollinators foraging, colonizing and persisting in agroecosystems,^{22,28,29} our objective was to evaluate whether the availability of spontaneously occurring flowering plants in coffee rows positively influences visitation and bee diversity in periods when coffee is not flowering. The availability of these floral resources is dependent on agricultural management measures; therefore, increasing our knowledge about bee responses to management effort is a tool that can be used to encourage management that favours the conservation of pollinator diversity.

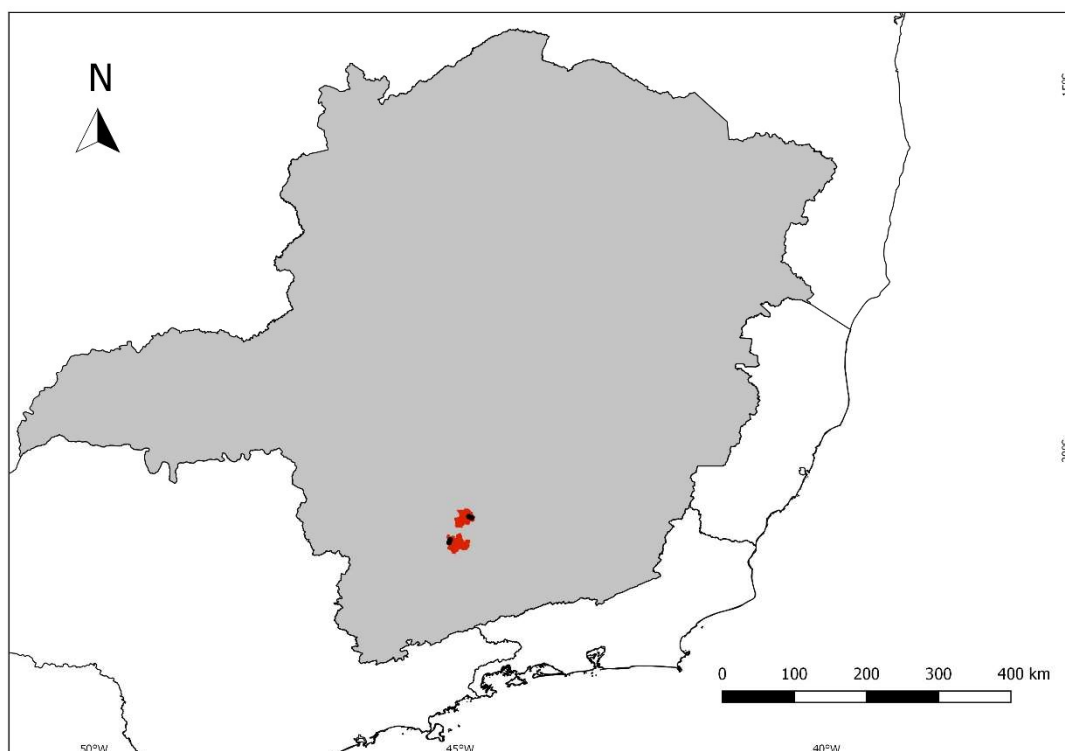
We specifically evaluated (I) whether the availability of floral resources positively affects the visitation rate, richness, and abundance of bees and modifies the composition of bee assemblages and (II) whether the transition to organic cultivation modifies the composition of bee assemblages.

Methodology

Study area

We conducted this study in four coffee (*Coffea arabica* L. (Rubiaceae)) production areas in the southern region of Minas Gerais (Figure 1). Two areas are large producers of conventional coffee certified by the Rainforest Alliance and UTZ and contain between 440 and 1990 ha of cultivated area. The other two areas are part of the local cooperative Association of Peasants and Agroecological Farmers of Lavras (ACCAL), and since 2018, they have been in the process of transitioning from conventional coffee production to organic production with support from the Coopfam cooperative (Cooperative of Family Farmers of Poço Fundo and Region). In the transition period, these two areas began to gradually replace the use of pesticides and inorganic fertilizers with alternative Figure 1. Figure 1. Map of southeastern Brazil. The state of Minas Gerais is highlighted in grey, and the municipalities of Lavras and Santo Antônio do Amparo are highlighted in red. Black markers indicate the points sampled for bee diversity.

techniques, such as the use of mixtures, coffee straw, green manure, bone meal and chicken manure, until organic practices were fully established and certifications were issued. The transition process was completed in 2020. We chose these sampling areas considering the presence of at least 1 ha of coffee cultivation, a minimum forest cover percentage of 2% and a



maximum percentage of 50% in a 2 km radius around the production areas, and the minimum cultivation duration of three years. In this region, coffee is grown in areas of the Atlantic Forest and cerrado phytogeographic domains at altitudes between 800 and 1300 m.

Diversity of bees

We obtained data on the richness, abundance, composition and visitation rate of bees through monthly collections between March and November 2019. We used three methodologies to obtain these data: *pan traps*, passive collection and observations of legitimate visits, and active collection.^{30,31}

Pan traps consist of coloured plastic bowls suspended from the ground by 1-metre stakes and filled with water (150 ml) and neutral detergent (10 drops/L). We distributed 10 traps per area, allocated in a 100-metre transect with an interval of 10 metres between them, following the coffee lines. Each stake contained three bowls, one yellow, one blue and one white, totalling 30 bowls^{32,33} per area. We set the traps between 7 am and 8 am and collected between 4 pm and 5 pm. We stored the organisms collected through pan traps in 70% alcohol in the field and then froze the sampled organisms obtained through active collection.

For visitation observations, active collection, and visitation rates, we sampled monthly between 8 am and 10 am. We defined three transects per area, distinct from the trap transects, that were 100 m in length and spaced 50 m apart, following the direction of the coffee lines. Each transect was walked on foot by the same observer for a period of 20 min to record the interactions between bees and floral resources in the plot (e.g., ruderal plants), and then, another 20 min was spent on active collection with an entomological net.^{22,34} We used ethyl acetate in a mortal chamber to sacrifice the organisms collected with an entomological net.

We calculated the visitation rate, a measure (proxy) of pollination, based on the number of bee visits to flowering individuals per hour,^{4,35} recorded through passive and active collection (totalling 2 hours/area/collection). We considered a visit to be any legitimate interaction between bees and floral resources - when the visitor passes through the floral opening and collects the resource by contacting the reproductive structures without causing damage to the flower.^{36,37}

We used the monthly data separated by areas for the analysis of richness, abundance and visitation rate of bees so that each month was considered a sample replica. For richness and abundance, we considered the specimens captured using the active collection methods and pan traps, summing all occurrences. The visitation data was considered the sum of all visits recorded through the active and passive collection methods, disregarding the traps because they do not directly reflect foraging in flowers. We used the composition data of the bee assemblages grouped by area.

We assembled and identified, up to the most specific taxonomic level possible, all sampled organisms according to Silveira et al. (2002). When bee collection was not possible, we classified the individuals into morphotypes according to shape, size, and colour characteristics.³⁸ The collections were included in the biological collection of the Federal University of Lavras (UFLA).

Availability of resources

We estimated the availability of resources by the coverage of floral resources (%)³⁹ and by the richness of spontaneously occurring flowering plants. We collected data on the coverage of floral resources through the percentage of open flowers in 1 m² quadrants as a function of the total area of the quadrant.⁴⁰ We positioned the quadrants on the ground at four points along the transects, marked at 20 m, 40 m, 60 m and 80 m from the initial point,⁴¹ and calculated the mean coverage per area per sampling event. The richness of the floral resources was calculated as the total morphotypes of spontaneously occurring flowering plants in each area per collection. The data were obtained simultaneously with the sampling of bees in each area each month.

Statistical analyses

We used mixed generalized linear models (GLMMs) to evaluate the effect of the availability of floral resources (coverage and monthly richness of resources) on the visitation rate, richness and abundance of bee assemblages. We considered the areas as a random factor to exclude the effect of dependence between the pseudoreplicates. We constructed three models, all with coverage and resource richness as fixed predictor variables. We excluded data from September, the month of coffee flowering, in these analyses because in these months, there were no alternative resources available because the interrows of coffee were mowed. In the first model, we included richness as a response variable; in the second model, we included abundance as a response variable; and in the third model, we included the visitation rate (count data) a response variable. We used the negative binomial error distribution in all models due to the superdispersion of the data with the `glmer.nb` function of the MASS package.⁴² We tested the fit of the models through the normality of the residuals with the Shapiro–Wilk test. We used the pseudo r^2 to infer the proportion of variation in the data explained by the mixed models through the `r.squaredGLMM` function of the MuMIn package.⁴³

To test the effect of the predictor variables - coverage and resource richness - on bee richness, abundance and visitation rate, we used the dredge function of the MuMIn package.^{44,45} We followed the Akaike information criterion (AIC) second order with small sample AIC correction (AICc) to determine which predictor variables had the greatest potential effect on bee richness, abundance and visitation rate. We considered that delta AICc values below 2.0 indicated the best models.⁴⁴

Next, we constructed latent class models (LCMs) to assess the effect of resource availability (I) and cultivation type (conventional X in transition) (II) on the composition of the bee assemblage. An LCM identifies underlying groups in a population as a function of the responses of individuals to the observed variables, assuming that each group has a response pattern (positive or negative effect coefficient), and calculates the probabilities of each individual belonging to each group.^{46,47}

For this purpose, we constructed models with the frequency of occurrence of each species (number of individuals per area) as a response variable and cover used, resource richness and type of cultivation (conventional or in transition) separately as explanatory variables. For each explanatory variable, we constructed three models; the first was the null model, assuming only one response class the second was a model with two response classes and the third was a model with three response classes. We grouped the species that occurred in only one area at higher taxonomic levels (subfamily and subtribe) to facilitate the analysis. We worked with two datasets, with and without *Apis mellifera*, since the high abundance of this species in relation to the remainder of the assembly affected the fit of the models and could mask other response patterns. The models built without *A. mellifera* showed a better statistical fit; however, it was still interesting to observe the response of *A. mellifera* because its dominance may indicate a reduction in the abundance of other species. For each set, we tested the null model (testing the adequacy of the data to only one response group) and models with two and three response groups. We selected the satisfactory models according to the convergence criterion (<1), and the comparison between the models was made based on the values of the Bayesian information criterion (BIC).⁴⁸

Results

We collected 90 species and 1,216 individual bees, of which 44% were native species and 56% were exotic species (*A. mellifera*). Of the native coffee-pollinating species,⁴⁹ only *Tetragonisca angustula* and bees of the genus *Trigona* were recorded.

The global models built to test the effect of resource richness and coverage on bee diversity met the criterion of normality of residues ($p_{richness} = 0.1696$; $p_{abundance} = 0.06529$; $p_{visitation} = 0.6638$). For richness and abundance, the best models were the null models (Table 1). The best model for the visitation rate showed a positive effect of resource richness ($AICc = 160.6$) (Table 1, Figure 2), the second-best model was the null model, and the third best model showed a positive effect of resource coverage ($AICc = 162.2$) on the visitation rate (Table 1, Figure 3). The global model had an explanatory power of $R^2 = 0.15$.

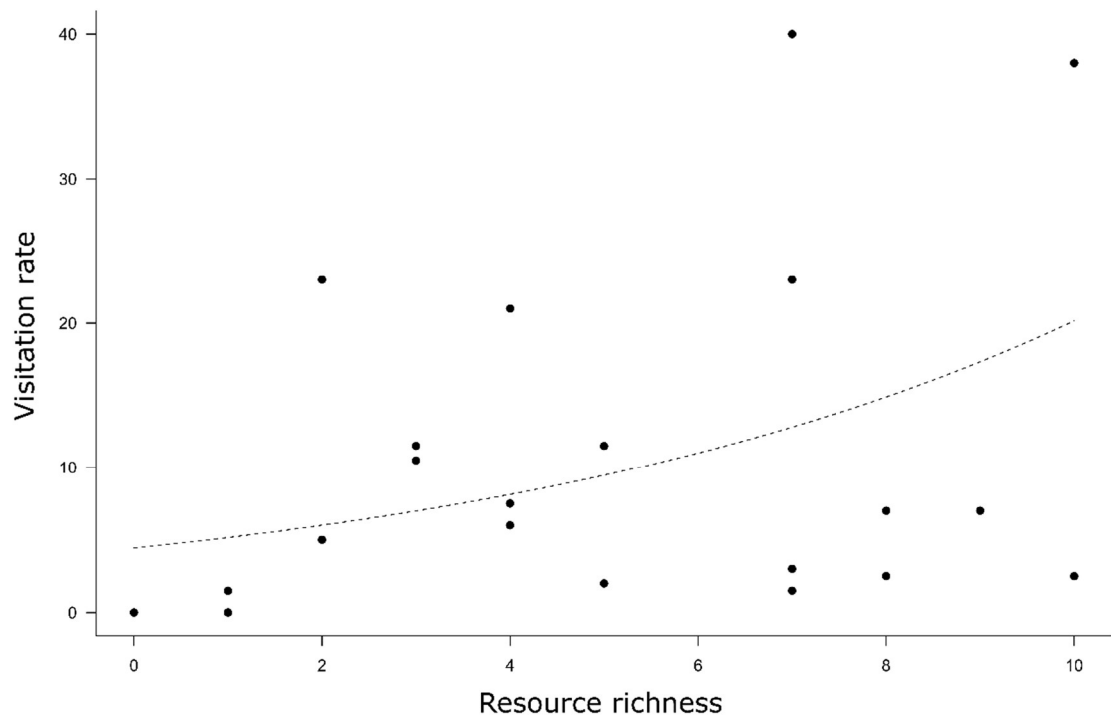


Figure 2. Effect of the richness of alternative floral resources on the visitation rate of bees in coffee crops. Best model ($AICc = 160.6$)

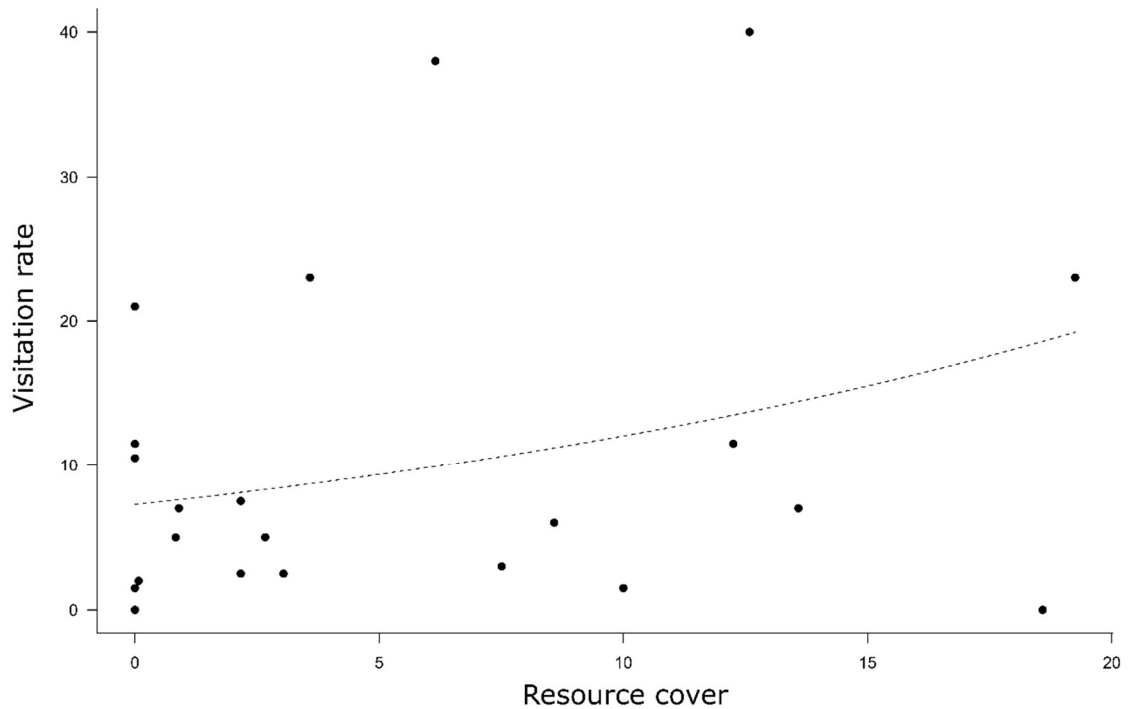


Figure 3. Effect of alternative floral resource coverage on the visitation rate of bees in coffee crops. Third best model (AICc = 162.2)

Table 1. Best mixed linear models selected according to AICc for bee richness, abundance and visitation in alternative resources in coffee crops.

Best mixed linear models				
		AICc	delta	Weight
Richness of bees				
Resource cover	Resource richness	138.7	0	0.6398
-	-			
Abundance of bees				
Resource cover	Resource richness	195.721	0	0.647
-	-			
Bees visitation rate				
Resource cover	Resource richness	160.6	0	0.402
-	0.1513			
Resource cover	Resource richness	161	0.41	0.327

-	-			
Resource cover	Resource richness	162.2	1.64	0.177
0.05053	-			

The best model to explain the variation in the composition of bee assemblages in relation to resource richness without *A. mellifera* data was the two-class model (Table 2, BIC = 497). Only Class 2 (tribe Halictini and *Plebeia* spp.) was positively influenced by resource richness (coef = 0.77635), while all other bees (class 1) were not influenced by the predictor variables. Regarding resource coverage, the best model had two classes (Table 2, BIC = 496), and only Class 1 (tribe Halictini and *Plebeia* spp.) was negatively influenced (coef = -0.57642). All other bee species (class 2) were not affected by the variables (richness and coverage of floral resources).

For the models constructed with *A. mellifera* data, there was no effect of the predictor variables on the formed classes, although the best models detected two response patterns (Table 2, BICrichness = 737; BICcoverage = 739), with Class 1 composed of *A. mellifera* and Class 2 composed of all other bees.

Table 2. List of BIC values and effect coefficients of the richness and resource cover variables in each class. Classes of the best models without *A. mellifera* for richness: Class 1: all other bees, Class 2: species in the Halictini tribe and *Plebeia* spp., and for coverage: Class 1: species in the Halictini tribe and *Plebeia* spp. and Class 2: all other bees. Classes of the best models with *A. mellifera* for richness and cover: class 1: *A. mellifera* and class 2: all other bees.

	BIC	Class 1	Class 2	Class 3
<i>Without A. mellifera</i>				
Resource richness				
Null model	521.19	0.08087	-	-
Two classes	497.18	-0.006	0.77635	-
Three classes	507.67	-0.0058	-0.006	0.77631
Resource cover				
Null model	520.7	-0.0679		
Two classes	496.82	-0.5764	-0.0102	
Three classes	507.31	-0.5764	-0.0102	-0.0102
<i>With A. mellifera</i>				
Resource richness				
Null model	791.29	-0.001	-	-

Two classes	737.31	-0.5401	0.01874	-
Three classes	747.88	0.01863	-0.54	0.01867
Resource cover				
Null model	791.01	-0.0294	-	-
Two classes	739.24	-0.1805	-0.0178	-
Three classes		-0.1804	-0.0178	-0.0178

Regarding the type of cultivation, the best model using the dataset without *A. mellifera* data showed two response patterns (Table 3, BIC = 493). Bees in Class 1 (tribe Halictini) were positively influenced by the transition to organic cultivation (coef = 2.55724), while bees in Class 2 (all other bees) were not affected by the type of cultivation.

Considering the dataset with *A. mellifera* data, the best model identified three response patterns (Table 3, BIC = 536). Class 1 (*Apis mellifera*) was negatively influenced by the transition to organic farming (coef = -32.12358), while Class 3 (Halictini tribe) and *Plebeia* spp.) was positively affected by the transition to organic farming (coef = 2.53563). Class 2 (all other bees) was not affected by the crop types.

Table 3. List of BIC values and effect coefficients of the type of cultivation in each class with and without *A. mellifera*. Classes of the best model with *A. mellifera*: Class 1: *A. mellifera*, Class 2: all other bees, Class 3: species in the Halictini tribe and *Plebeia* spp. Classes of the best model without *A. mellifera*: Class 1: species in the Halictini tribe and Class 2: all other bees.

	BIC	Classe 1	Classe 2	Classe 3
<i>Without A. mellifera</i>				
Null model	520.91	0.25845	-	-
Two classes	493.89	2.55724	-0.00250	-
Three classes	504.38	2.55724	-0.00250	-0.00249
<i>With A. mellifera</i>				
Null model	788.97	-0.36051	-	-
Two classes	563.66	-25.71144	0.25509	-
Three classes	536.19	-32.12358	-0.00250	2.53563

Discussion

We demonstrated that enriching the environment among coffee crops with floral resources is important for both bee pollination potential and the maintenance of native species. The visitation rate increased with the increase in floral resources (richness and cover),

although the bee richness and abundance did not show the same response pattern. There was also a higher occurrence frequency of *Plebeia* spp. and species of the tribe Halictini in crops in transition to organic management, while there was a higher occurrence frequency of *A. mellifera* in conventional crops. These results indicate that simple management measures, such as allowing the development of spontaneous plants in coffee rows, have the potential to promote the conservation of bee biodiversity through the supply of food and nesting resources. In addition, additional management measures, such as those associated with organic cultivation, provide a more friendly habitat native bees in cultivated areas.

The availability and diversity of floral resources can increase the abundance and diversity of pollinators in both urban and seminatural environments.^{50,51} In cultivated environments, there may be a positive association between the vegetation that covers the soil and the abundance of bees.²² However, the richness and abundance of bees did not respond to the availability of local resources in our study. This lack of response may have occurred as result of the limitation of the richness and abundance measures since processes such as species substitution are not reflected by these metrics or as a result of the physical or chemical management of spontaneous plants, which prevents the formation of attractive floral arrangements that have a positive effect on bee richness and abundance. When management allows these plants to flower naturally, a mixture of spontaneously occurring flowering plants can provide a high level of richness and abundance.¹⁷

On the other hand, the attractiveness of the resources was sufficient to increase the bee visitation rate and benefit the individuals who foraged in the crop areas. Bees use floral resources such as nectar, pollen, and resin to feed and build nests.¹⁶ However, the resources provided by perennial crops such as coffee are short-lived and are not able to maintain populations throughout the year.¹⁷ In comparison to other approaches, hedges planted around crops result in a higher occurrence of native bees, and once the plants are well established, they have a positive effect on species more specialized in nesting resources and less mobile bees.⁵¹ Therefore, temporal complementarity is important to address by supplying floral resources between the blooms of crops, and the growth spontaneous plants fulfil this role for bee populations, resulting in less intensive management of bee populations than that in cultivated areas.

The increase in the visitation rate in response to the availability and diversity of resources showed that there is demand for foraging of the resources offered by spontaneous plants, as already observed by Feltham et al. (2015). Although the enrichment of floral resources in cultivated habitats contributes more to the richness of common bee species,⁵¹ the

maintenance of viable populations of common species has the potential to contribute to ecosystem services.⁹ Viable populations are beneficial to the preservation of genetic diversity,^{52,53} especially common native species.

The frequency of occurrence for the tribe Halictini and *Plebeia* spp. increased in response to resource richness but decreased in response to resource coverage. Bees in the Halictini tribe nest in the soil, and their nests are usually built within crops.⁵⁴ Conversely, bees in the genus *Plebeia* have a narrow foraging radius of only 500 metres in comparison to that of other native bees that reach 2,500 metres,⁵⁵ and the bees in this genus also have their dispersion limited by new colony dependence on mother colonies during their establishment.^{56,57} These characteristics indicate that the abundant presence of both groups may be related to the construction of nests near or inside the crops. This is evidence that environmental enrichment with spontaneous floral resources results in crops that are more environmentally friendly for not only foraging but also nesting, which is important because native bee species contribute positively to crop production.²⁰

In our study, we observed that bees in the tribe Halictini and the genus *Plebeia* responded positively to the transition to organic farming, while *A. mellifera* experienced the opposite effect. A high abundance of *A. mellifera* in relation to other species in conventional crops is expected due to its characteristics of being an exotic species, a generalist, and a good competitor; in addition, this species has a flight pattern that allows it to reach greater foraging distances and is abundant in anthropogenic environments.^{58, 59} Agricultural practices friendly to pollinators have been increasingly used and recognized as tools to conserve biodiversity and stimulate pollination services.⁶⁰ The transition to organic cultivation fits into this group of practices, and one of the benefits of organic cultivation is that it provides greater spatial stability to soil biotic and abiotic properties, including soil fertility, and soil processes that are mediated by the greater input of organic matter.⁶¹ This improvement in soil quality may be responsible for the greater abundance of species that build their nests in the soil, such as the native bees observed in this study.

Transitioning to organic cultivation improves soil quality; however, by itself, it does not guarantee that resources for nesting and foraging are available if management to maintain vegetation with spontaneous or cultivated flowers is not implemented. Ecological intensification, which is the enrichment of suitable habitats for pollinators through the management of arable areas, has been recognized as a promising sustainable practice, and it increases biodiversity and thus ecosystem services that enhance agricultural productivity.^{60,62}

Counterintuitively, the improvements to soil fertility provided by inorganic fertilizers in conventional crop production can reduce the contribution of native pollinators to crop production.²⁰ Furthermore, high nitrogen levels tend to reduce floral arrangements and consequently negatively affect agricultural productivity.²⁰ Thus, agricultural intensification through inorganic fertilizers does not benefit producers, not even from economically.

On the one hand, improved soil quality increases the abundance of some native species; on the other hand, it contributes to a reduction in the occurrence of exotic species. Our study showed that organic management practices promote the conservation of native species at the expense of exotic species. This is important information to be considered in decision-making by landowners and public agents since there is an increased demand for pollinator-dependent agricultural products in response to society's search for healthy foods;⁶³ and these entities represent approximately 50% of agricultural production in Brazil.⁶⁴

The availability and diversity of spontaneously occurring flowering plants in the coffee rows and the management measures inherent in transitioning to organic farming contributed to the visitation and diversity of bees, especially native bees. Once local management allows the development of these flowers, coffee cultivation can provide a place for pollinators to forage, seek refuge and nest, even when the target crop is not flowering. In the context of agricultural expansion, increased demand for pollinators and the need to reduce biodiversity loss,^{7,65} strategies to reconcile agricultural production and biodiversity conservation of pollinators are urgent. This study demonstrated that perennial crops could offer resources in addition to the flowering of the crop itself and that management measures that allow spontaneous plants to flower, such as spacing the removal time for spontaneous plants (mowing) or the reduction/substitution of pesticides applied for this purpose, are efficient actions to increase bee presence and consequently to achieve a better sustainability in cultivated areas.

Acknowledgements

We would like to thank the Universidade Federal de Lavras with its associated Post-Graduation Program in Applied Ecology, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) process No. 400590/2018-2. This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) – Finance Code 001. We thank our contributors from Associação de Camponesas e Camponeses de Lavras (ACCAL), Fazenda Pinhal e Santo Antonio e NKG Fazendas Brasileiras Ltda for allowing access to their

properties and all logistic support. We also thank to Jonathan Wilson de Almeida for his field work support to this research.

References

1. Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Press, Washington, DC (2005).
2. Costanza R , Groot R , Braat L, Kubiszewski I, Fioramonti L , Sutton P, Farber S and Grasso M, Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go?. *Ecosystem Services* **28** (2017):1–16 (2018).
3. Jha S, Burkle L and Kremen C, Vulnerability of Pollination Ecosystem Services in *Climate Vulnerability: Understanding and Addressing Threats to Essential Resources* Elsevier Inc., pp. 118–125 (2013).
4. Aguilar R, Ashworth L, Galetto L and Aizen MA, Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis. *Ecology Letters* **9**:968–980 (2006).
5. Klein AM, Vaissiere BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C and Tscharntke T, Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society* **274**:303–313 (2007).
6. Mallinger RE and Gratton C, Species richness of wild bees, but not the use of managed honeybees, increases fruit set of a pollinator-dependent crop. *Journal of Applied Ecology* **52**:323–330 (2015).
7. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, *Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020 and the Aichi Targets*. [Online]. CBD (2010). Available: <http://www.cbd.int/doc/publications/tou-gdl-en.pdf> [15 may 2021]
8. United Nations Environment Programme, *Making Peace with Nature: A scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity and pollution emergencies*. [Online]. UNEP (2021). Available: <https://www.unep.org/resources/making-peace-nature> [20 september 2021]
9. Winfree R, Fox JW, Williams NM, Reilly JR and Cariveau P, Abundance of common species, not species richness, drives delivery of a real-world ecosystem service. *Ecology Letters* **18**(7):626–35 (2015).
10. Potts SG, Biesmeijer JC, Kremen C, PNeumann and Schweiger O, William E Kunin, Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends Ecol Evol* **25**(6):345-53 (2010).

11. Michener CD. *The Bees of the World*, 2nd edn, John Hopkins University Press, Baltimore (2007).
12. Goulson D, Nicholls E, Botías C and Rotheray EL, Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science* **347**:1255-957 (2015).
13. Battle KF, Rivera CED and Cruzan MB, The role of functional diversity and facilitation in small-scale pollinator habitat. *Ecological Applications* **31**(6) (2021).
14. Kennedy CM, Lonsdorf E, Neel MC, Williams NM, Ricketts TH, Winfree R, Bommarco R, Brittain C, Burley AL, Cariveau D, Carvalheiro LG, Chacoff NP, Cunningham SA, Danforth BN, Dudenhoefter J, Elle E, Gaines HR, Garibaldi LA, Gratton C, Holzschuh A, Isaacs R, Javorek SK, Jha S, Klein AM, Krewenka K, Mandelik Y, Mayfield MM, Morandin L, Neame LA, Otieno M, Park M, Potts SG, Rundlof M, Saez A, Steffan-Dewenter I, Taki H, Viana BF, Westphal C, Wilson JK, Greenleaf SS, Kremen C, A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecol. Lett.* **16**:584–599 (2013).
15. Williams NM and Kremen C, Resource distributions among habitats determine solitary bee offspring production in a mosaic landscape. *Ecological Applications* **17**:910–921 (2007).
16. Pinheiro M, Gaglianone M, Nunes C, Sigrist M and Alves-dos-Santos I, Polinização por abelhas, in *Biologia da Polinização*, ed. by Rech A, Agostini K, Oliveira P e Machado I. Projeto Cultural, Rio de Janeiro, pp. 205-233 (2014).
17. Machado ACP, Barônio GJ, Oliveira FF, Garcia CT and Rech AR, Does a coffee plantation host potential pollinators when it is not flowering? Bee distribution in an agricultural landscape with high biological diversity in the Brazilian Campo Rupestre. *J Sci Food Agric* **101**:2345–2354 (2020).
18. Ferreira PA, Boscolo D, Carvalheiro LG, Biesmeijer JC, Rocha PL, Viana BF, Responses of bees to habitat loss in fragmented landscapes of Brazilian Atlantic Rainforest. *Landsc. Ecol.* **30**:2067–2078 (2015).
19. Morellato LPC, Alberton B, Alvarado ST, Borges B, Buisson E, Camargo MGG, Cancian LF, Carstensen DW, Escobar DFE, Leite PTP, Mendoza I, Rocha NMWB, Soares NC, Silva TSF, Staggemeier VG, Streher AS, Vargas BC and Peres CA, Linking plant phenology to conservation biology. *Biological Conservation* **195**: 60-72 (2016).
20. Ramos DL, Bustamante MMC, Silva FDS and Carvalheiro LG, Crop fertilization affects pollination service provision – Common bean as a case study. *PLoS ONE* **13**(11): e0204460. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204460> (2018).

21. Hoover SER, Ladley JJ, Shchepetkina AA, Tisch M, Giesege SP and Tylianakis JM, Warming CO₂ and nitrogen deposition interactively affect a plant-pollinator mutualism. *Ecology Letters*; **12**:227–234 (2014).
22. Fisher K, Gonthier DJ, Ennis KK and Perfecto I, Floral resource availability from groundcover promotes bee abundance in coffee agroecosystems. *Ecol. Appl.* **27**:1815–1826 (2017).
23. Hannon LE and Sisk TD, Hedgerows in an agri-natural landscape: potential habitat value for native bees. *Biological Conservation* **142**:2140–2154 (2009).
24. Ponisio LC, M’Gonigle LK and Kremen C, On-farm habitat restoration counters biotic homogenization in intensively managed agriculture. *Global Change Biology* **22**:704–715 (2016).
25. Sardiñas HS, Ponisio LC and Kremen C, Hedgerow presence does not enhance indicators of nest-site habitat quality or nesting rates of ground- nesting bees. *Restoration Ecology* **24**:499–505 (2016).
26. Lowe EB, Groves R and Gratton C, Impacts of field-edge flower plantings on pollinator conservation and ecosystem service delivery – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **310**:107290 (2021).
27. Caudill SA, Brokaw JN, Doublet D and Rice RA, Forest and trees: shade management, forest proximity and pollinator communities in southern Costa Rica coffee agriculture. *Renew. Agric. Food. Syst.* **32**:417–427 (2017).
28. Kremen, C, Williams NM, Aizen MA, Gemmill-Herren B, LeBuhn G, Minckley R, Packer L, Potts SG, Roulston T, Steffan-Dewenter I, Vazquez DP, Winfree R, Adams L, Crone EE, Greenleaf SS, Keitt TH, Klein AM, Regetz J and Ricketts TH, Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecol. Lett.* **10**:299–314 (2007).
29. Haaland C, Naisbit RE and Bersier LF, Sown wildflower strips for insect conservation—a review. *Insect Conserv Divers* **4**:60–80 (2011).
30. Prado SG, Ngo HT, Florez JA and Collazo JA, Sampling bees in tropical forests and agroecosystems: a review. *Journal of Insect Conservation* **1**:1–8 (2017).
31. Prendergast KS, Menz MHM, Dixon KW and Bateman PW, The relative performance of sampling methods for native bees: an empirical test and review of the literature. *Ecosphere* **11**(5): e03076. 10.1002/ecs2. 3076 (2020).

32. LeBuhn G, Droege S, Connor E, Gemmill-Herren B, and Azzu N. *Protocol to Detect and Monitor Pollinator Communities: Guidance for Practitioners*, UN: Food and Agriculture Organization. Rome, Italy (2016).
33. Halinski R, dos Santos CF, Kaehler TG and Blochtein B, Influence of Wild Bee Diversity on Canola Crop Yields. *Sociobiology* **65**(4): 751-759 (2018).
34. Ricketts TH, Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology* **18**:1262–1271 (2004).
35. Neuschulz EL, Mueller T, Schleuning M and Böhning-Gaese KM, Pollination and seed dispersal are the most threatened processes of plant regeneration. *Scientific Reports* **6**(1):29839 (2016).
36. Freitas L, Precisamos falar sobre o uso impróprio de recursos florais. *Rodriguésia* **69**(04) (2018).
37. Irwin RE, Brody AK and Waser NM, The impact of floral larceny on individuals, populations, and communities. *Oecologia* **129**:161-168 (2001).
38. Silveira FA, Melo GAR and Almeida EAB. *Abelhas Brasileiras: Sistemática e Identificação*, Fundação Araucária, Belo Horizonte (2002).
39. Garibaldi L, Steffan-Dewenter I, Kremen C, Morales JM, Bommarco R, Cunningham SA, Cunningham SA, Carvalheiro LG, Chacoff NP, Dudenhoffer JH, Dudenhoffer JH, Mayfield M, Morandin LA, Potts SG, Ricketts TH, Szentgyorgyi H, Viana BF, Westphal C, Winfree R, Klein AM, 2011. Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecol. Lett.* **14**:1062–1072.
40. Clough Y, Holzschuh A, Gabriel D, Purtauf T, Kleijn D, Kruess A, Steffan-Dewenter I and Tschamntke T, Alpha and beta diversity of arthropods and plants in organically and conventionally managed wheat fields. *Journal of Applied Ecology* **44**:804–812 (2007).
41. Samnegård U, Georgina A, Boreux V, Bosch J, García D, Happe A, Klein A, Miñarro M, Mody K, Porcel M, Rodrigo A, Roquer-Beni L, Tasin M and Hambäck PA, Management trade-offs on ecosystem services in apple orchards across Europe: Direct and indirect effects of organic production. *Journal of Applied Ecology* 1-10 (2018).
42. Venables WN and Ripley BD, *Modern Applied Statistics with S*, 4th edn. Springer, New York (2002).
43. Nakagawa S and Schielzeth H, A general and simple method for obtaining R^2 from Generalized Linear Mixed-effects Models. *Methods in Ecology and Evolution* **4**:133-142 (2013).

44. Burnham KP, Anderson DR and Huyvaert KP, AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons. *Behavioral Ecology and Sociobiology* **65**:23–35 (2011).
45. Burnham KP and Anderson DR. *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*, 2nd edn. Springer-Verlag, New York (2002).
46. Collins LM and Lanza ST, *Latent class and latent transition analysis: with applications in the social, behavioral, and health sciences*, John Wiley & Sons, New Jersey (2010).
47. Chen Q, Zhong X, Acosta L, Divjan A, Rundle A, Goldstein IF, Miller RL, Perzanowski MS. Allergic sensitization patterns identified through latent class analysis among children with and without asthma. *Ann Allergy Asthma Immunol.* **116**(3): 212–218 (2016).
48. Schwarz G, Estimating the dimension of a model. *Ann. Stat* **6**:(2) 461-464 (1978).
49. Giannini TC, Costa WF, Cordeiro GD, Imperatriz-Fonseca VL, Saraiva AM, Biesmeijer J and Garibaldi LA, Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. *PLoS ONE* **12**(8): e0182274 (2017).
50. Pardee GL and Philpott SM, Native plants are the bee’s knees: local and landscape predictors of bee richness and abundance in backyard gardens. *Urban Ecosystem* **17**:641–659 (2014).
51. Kremen C and LK M’Gonigle, Small-scale restoration in intensive agricultural landscapes supports more specialized and less mobile pollinator species. *Journal of Applied Ecology* **52**:602–610 (2015).
51. Scheper J, Holzschuh A, Kuussaari M, Potts SG, Rundlöf M, Smith HG and Kleijn D, Environmental factors driving the effectiveness of European agri-environmental measures in mitigating pollinator loss — a meta-analysis. *Ecol Lett*, **16**:912-920 (2013).
52. Allendorf FW, Luikart GH and Aitken SN. *Conservation and the genetics of populations*, 2nd edn. Wiley, New York (2013).
53. Amos W and Balmford A, When does conservation genetics matter? *Heredity* **87**:257–265 (2001).
54. Pisanty G and Mandelik Y, Profiling crop pollinators: Life history traits predict habitat use and crop visitation by Mediterranean wild bees. *Ecological Applications* **25**(3):742-752 (2015).
55. Nogueira-neto P. *Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão*. Nogueirapis, São Paulo, (1997).
56. Roubik DW, Stingless bee nesting biology. *Apidologie* **37**: 124-143 (2006).

57. Vit P, Pedro SRM and Roubik D. *Pot- Honey: A legacy of stingless bees*, New York, Springer (2013).
58. Ricketts TH, Regetz J, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Bogdanski A, Gemmill-Herren B, Greenleaf SS, Klein AM, Mayfield MM, Morandin LA, Ochieng A, Viana BF, Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? *Ecol. Lett.* **11**:499–515 (2008).
59. Greenleaf SS, Williams NM, Winfree R, Kremen C, Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia* **153**(3):589–596 (2007).
60. Garibaldi LA, Carvalheiro LG, Vaissière BE, Gemmill-Herren B, Hipólito J, Freitas BM, An J, Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science* **351**:388–391 (2016).
61. Schrama CM, Haan JJD, Kroonen M, Verstegen H and VanDer Putten WH, Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **256**:123–130 (2018).
62. Tiftonell P, Ecological intensification of agriculture – sustainable by nature. *Curr. Opin. Environ. Sustain* **8**:53–61 (2014).
63. Organisation for Economic Cooperation and Development and Food and Agriculture Organization of the United Nations, *OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028*, OECD Publishing (2019).
64. Bergamo PJ, Wolowski M, Tambosi LR, Garcia E, Agostini K, Garibaldi LA, Knight TM, Lughadha EN, Oliveira PEAM, Marques MCM, Maruyama PK, Maués MM, Oppata AK, Rech AR, Saraiva AM, Silva FDS, Sousa G, Tsukahara RY, Varassin IG, Viana BF and Freitas L. Areas Requiring Restoration Efforts are a Complementary Opportunity to Support the Demand for Pollination Services in Brazil. *Environmental Science & Technology* **55** (17):12043-12053 (2021).
65. Aizen MA, Aguiar S, Biesmeijer JC, Garibaldi LA, Inouye DW, Jung C, Martins DJ, Medel R, Morales CL, Ngo H, Pauw A, Paxton RJ, Sáez A and Seymour CL, Global agricultural productivity is threatened by increasing pollinator dependence without a parallel increase in crop diversification. *Global Change Biol.* **25**:3516–3527 (2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A preservação da biodiversidade de abelhas é crucial para a produção de alimentos em escala global e para mitigação dos impactos negativos da agricultura. Nesse sentido, vimos que o enriquecimento floral é uma técnica utilizada para promover a diversidade de abelhas em ambientes agrícolas. Contudo, para avançarmos no desenvolvimento de práticas agrícolas ecologicamente e economicamente viáveis é essencial que sejam realizadas pesquisas, especialmente no âmbito da agricultura, para garantir a eficiência do enriquecimento floral em diferentes condições climáticas e tipos de cultivo. É preciso também considerar os enriquecimentos florais estabelecidos há mais de dois anos e fazer amostragens com mais de três anos de duração, essa é uma lacuna no conhecimento e esses dados podem influenciar positivamente o resultado do enriquecimento floral na assembleia de abelhas. Amostragens que são conduzidas durante e fora da floração do cultivo principal são necessárias para compreender a relação de complementariedade temporal entre os recursos alternativos e os recursos florais do cultivo principal e como essa dinâmica afeta a assembleia de abelhas. Além disso, nosso estudo demonstrou que as culturas perenes, como o café, podem ser utilizadas como um recurso para os polinizadores mesmo fora da época de floração da cultura alvo, desde que medidas de manejo sejam implementadas no sentido de aumentar a disponibilidade de flores. Demonstramos também que medidas de manejo que permitem que as plantas espontâneas floresçam, como o espaçamento do tempo de remoção de plantas espontâneas ou a redução/substituição de pesticidas aplicados para esse fim, são ações eficientes para aumentar a presença de abelhas e alcançar uma melhor sustentabilidade em áreas cultivadas.