

Os impactos dos herbicidas em abelhas nativas brasileiras

Lucas Teodoro Lopes ¹, Roberta Cornélio Ferreira Nocelli ², Patricia Andrea Monquero ^{3*}

¹ Aluno de graduação do curso de Engenharia agrônoma do Centro de Ciências Agrárias/Universidade Federal de São Carlos, Brasil.

² Professora Associada do Departamento de Ciências da Natureza, Matemática e Educação, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Brasil

³ Professora Titular do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Brasil. (*Autor correspondente: pamonque@ufscar.br)

Histórico do Artigo: Submetido em: 21/11/2023 – Revisado em: 25/04/2024 – Aceito em: 05/06/2024

RESUMO

Este trabalho realizou uma revisão sistemática cobrindo todos os artigos publicados em língua portuguesa e inglesa que avaliaram os efeitos dos herbicidas em abelhas nativas brasileiras. Após a determinação dos critérios de elegibilidade e a realização de pesquisas nas plataformas "Google Acadêmico" e "SciELO Brasil", identificou-se um total de 23 artigos selecionados. Dentre os principais pontos observados, o foco no uso do glifosato como molécula dominante nas avaliações desta classe chamou a atenção pelos valores obtidos. Dos 23 artigos eleitos, 18 (78,26%) utilizaram esta molécula, seja como único herbicida ou em conjunto com outros. Outras moléculas foram utilizadas em apenas 21,74% dos artigos eleitos, o que representa aproximadamente 10,4% de todos os artigos levantados. Mesmo com uma fatia de mercado equivalente a 59,24% dentre os dez herbicidas mais comercializados, sua proporção em pesquisas acadêmicas sofreu um acréscimo de 32,11% em sua representatividade. Ao buscar embasamento dessa desproporção nos riscos ambientais apresentados por cada molécula, constata-se que, de acordo com relatórios oficiais do IBAMA, o glifosato não seria mais danoso que os demais herbicidas, não justificando seu estudo mais intensivo e retirando este possível viés das discussões. Sobre os efeitos subletais observados, ao todo foram levantadas 11 diferentes categorias, indicando uma falta de padronização nos dados obtidos em comparação aos herbicidas avaliados, o que gera poucos dados a serem validados por diferentes trabalhos, abrindo brechas para afirmações em relação aos efeitos gerados por esses ingredientes ativos

Palavras-chave: avaliação de risco; efeitos letais; efeitos subletais; glifosato; pesticidas.

The impacts of herbicides on native bees: a systematic review

ABSTRACT

This work carried out a systematic review covering all the articles we have published in Portuguese and English that evaluated the effects of herbicides on native Brazilian bees. Thus, after determining the eligibility criteria and carrying out research on the "Google Scholar" and "SciELO Brasil" platforms, a total of 23 selected articles were identified. Among the main points observed, the focus on the use of glyphosate as the dominant molecule in the evaluations of this class drew attention due to the values obtained, so that 18 (79.17%) of the 23 articles chosen used this molecule, whether as the only herbicide or next to another. Other molecules were used in only 20.83% of the articles chosen, which represents approximately 10.4% of all articles collected. Even with a market share equivalent to 59.24% among the ten most sold herbicides, its proportion in academic research increased by 32.11% in its representation. When we sought to base this disproportion on the environmental risks presented by each molecule, we found that, according to official IBAMA reports, glyphosate would not be more harmful than other herbicides, not justifying its more intensive study, removing this possible bias from the discussions. Regarding the sublethal effects observed, in total 11 different categories were raised, indicating a lack of standardization in the data obtained in comparison to the herbicides evaluated, generating little data to be validated by different studies, which creates gaps for statements regarding the effects generated by these active ingredients.

Keywords: glyphosate; lethal effects; pesticides; risk assessment; sublethal effects.

1. Introdução

A importância das abelhas como polinizadores naturais em diversos ambientes, sejam eles naturais ou agrícolas é uma informação consolidada dentro da comunidade científica após décadas de estudos e conhecimento compilado sobre suas atividades para as comunidades biológicas de forma geral, realizando a polinização como atividade base para a frutificação e reprodução das plantas, principalmente para as angiospermas (Freitas & Nunes-Silva, 2012). As interações observadas entre seres humanos, plantas polinizadas e organismos polinizadores, como as abelhas, ganham relevância quando contextualizadas dentro de um enquadramento educacional. Esse cenário educativo proporciona o desenvolvimento de uma percepção ambiental refinada, que é moldada pela diversidade de experiências individuais. No entanto, há um consenso quanto à importância das atividades desempenhadas pelas abelhas e aos benefícios que proporcionam às plantas cultivadas. (Ferreira et al., 2013).

Em 2019, a Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos (BPBES) e a Rede Brasileira de Interações Planta-Polinizador (REBIPP) publicaram um relatório que examinou o papel dos polinizadores na agricultura do país e calculou seu valor. Foram consideradas 44 espécies cultivadas e 7 espécies de polinizadores. Cerca de 68% dessas espécies dependiam exclusivamente das abelhas para a polinização. A análise avaliou a importância das abelhas com base em quatro níveis de incremento na produção: pouca (0-10%), modesta (10-40%), alta (40-90%) e essencial (90-100%). A avaliação econômica atual estimou um valor de 43 bilhões de reais por ano, com dados de 2018 (Wolowski et al., 2019). Quatro culturas principais - soja, café, laranja e maçã - dominaram 80% desse valor. Embora todas essas culturas dependam das abelhas para polinização, a laranja também pode ser polinizada por borboletas. A soja, o café e a laranja foram classificadas como "dependência modesta". Mesmo com essa dependência moderada, essas culturas tiveram um impacto econômico significativo devido à sua abundância e produtividade crescente. A soja se destacou, representando 60% do valor total, apesar de não ser essencial. Apenas a cultura da maçã exigiu polinização essencial, contribuindo com 5% do valor total (Wolowski et al., 2019).

Pode-se citar demais aspectos dos impactos da polinização realizada por abelhas, como o aumento na produção ou a notável melhoria na qualidade dos produtos, que são algumas das principais vantagens proporcionadas pelas abelhas aos produtores, mesmo em culturas que não são totalmente dependentes da polinização para sua reprodução (Silva, 2015; Malagodi-Braga, 2018).

Apesar da necessidade e das vantagens proporcionadas pelas abelhas sabe-se que outras atividades atreladas a agricultura tradicional estão causando danos a estas comunidades, que acabam dividindo o mesmo espaço durante o forrageamento e muitas vezes vivem em colônias localizadas em matas próximas as áreas agrícolas, sendo que a maior causa de morte dessas comunidades está relacionada a aplicações de pesticidas como método de controle fitossanitário (Nocelli et al., 2012). Entre os produtos químicos aplicados, talvez a classe mais estudada e reconhecida cientificamente como danosa as abelhas seja a dos inseticidas, utilizada para o combate aos insetos-pragas, seres muito próximos biologicamente/morfologicamente as abelhas e que geram danos em valores que chegam à casa dos bilhões as lavouras todos os anos (Oliveira et al., 2014).

Além dos impactos causados pelos inseticidas, outras categorias de pesticidas também podem representar uma ameaça às abelhas. Os fungicidas, por exemplo, são produtos desenvolvidos com o intuito de proteger as culturas contra doenças fúngicas, mas que já possui dados comprovando sua ação danosa a estes polinizadores, levando os indivíduos a morte ou gerando efeitos subletais, como alterações na capacidade de voo e no reconhecimento de cores (Ramos, 2021; Almeida et al., 2021; Gomes et al., 2023). Da mesma forma, os herbicidas são amplamente utilizados para o controle de plantas daninhas, alvos completamente diferentes dos insetos, mas que de certa forma, ainda geram efeitos adversos nestes organismos não-alvo (Nocelli et al., 2019).

Dentro da comunidade científica, é notável uma tendência marcante de estudos que abordam a classe dos inseticidas, visto os fatos abordados anteriormente, em detrimento das demais, especialmente aqueles pertencentes ao grupo dos neonicotinoides, como o tiametoxam, imidacloprido e acetamiprido (Jacob et al., 2019; Macedo, 2016; Monteiro, 2021; Souza, 2022). Quando se estendem estas análises para as avaliações com herbicidas, além da menor proporção como classe, observa-se uma frequência

dominante da molécula de glifosato como objeto de estudo, que se destaca como a substância-chave neste grupo, discutido por meio de dados posteriormente. No entanto, é essencial expandir o escopo das pesquisas acadêmicas para englobar uma diversidade maior de classes e moléculas de pesticidas, a fim de compreender de maneira mais abrangente os riscos e os impactos potenciais dessas substâncias nas abelhas e como isso pode afetar todo o seu papel dentro da polinização.

No caso de herbicidas, tem-se mais de 80 moléculas alocadas em 17 grupos diferentes, de acordo com o HRAC-Br (2023), que com base em seus mecanismos de ação foram divididas para melhor compreensão de suas funcionalidades e aplicações. Apesar das características em comum, dentro dos grupos ainda há diferenciações, onde cada uma possui característica específicas, seja pela rota metabólica, até atingir seu alvo dentro da planta e suas características físico-químicas. Esta variedade de herbicidas a serem aplicados permite um balanço consciente entre utilizações de produtos, a partir de uma rotação de moléculas, e mecanismos de ação para a diminuição da pressão de seleção e consequentemente evitar o surgimento de biótipos resistentes de plantas daninhas (Inoue e Oliveira, 2011).

O glifosato, por ser o mais popular dos herbicidas, sendo o mais comercializado e aplicado nas áreas agrícolas (IBAMA, 2022a), acaba por prevalecer dentre as pesquisas, onde seus diversos aspectos e interações já foram estudados, com diferentes espécies (Da Silva et al., 2022; Ferreira et al., 2023; Guimarães-Cestaro et al., 2020), apresentando de modo geral, um efeito maléfico as abelhas, gerando mortes, alterações cognitivas, etc.

Os herbicidas, quando em contato com as abelhas também podem acarretar injúrias a sua qualidade de vida, podendo inclusive causar efeitos letais como a diminuição de sua longevidade. Nocelli et al. (2019) avaliando os efeitos de diferentes doses dos herbicidas glifosato, 2,4-D, picloram e a mistura de glifosato + 2,4-D para as exposições tópica e oral em operárias de abelhas nativas da *Melipona scutellaris*, concluíram, que para exposição oral, todos os tratamentos reduziram a longevidade das abelhas, enquanto para o tópico o mesmo resultado ocorreu com a mistura de glifosato + 2,4-D.

Além dos efeitos letais associados aos pesticidas, é possível observar também efeitos subletais, tais como a redução da expectativa de vida, alterações morfológicas, perda da capacidade de reconhecimento de alimentos, comprometimento da habilidade de combater infecções e deterioração cognitiva, incluindo a afetação da memória, entre outros efeitos (Nocelli et al., 2012). Devido à importância de compreender essas interações e seus desdobramentos, inúmeros estudos têm sido e continuam sendo conduzidos, contribuindo para a ampliação do conhecimento científico nesse tema crucial. Essa compreensão é essencial para promover uma gestão consciente e segura do avanço da agricultura, ao mesmo tempo em que se preserva nossa fauna e flora.

Para os demais herbicidas, temos, comparativamente, poucos trabalhos publicados, mas que já nos permitem observar que, apesar de em alguns casos não gerarem danos diretos e facilmente observáveis como os inseticidas, possuem um potencial muito grande de promoverem danos subletais que acabam enfraquecendo as colônias de modo geral ao longo do tempo, diminuindo suas funcionalidades e levando posteriormente a morte daquele grupo (Nocelli et al., 2019).

Outro ponto de muita relevância na presente discussão é a utilização de espécies exóticas como parâmetros em estudos que terão impacto no contexto nacional, para tomadas de decisões como a liberação ou não do uso de determinados ingredientes ativos, de modo que as abelhas nativas sem ferrão, predominantes no Brasil, não são representadas nesta avaliação. Nesta situação é comum o uso da *Apis mellifera* (Abelha-europeia), indicada pela OECD (1998) em seu “Guidelines for the testing of chemicals” como representante para compreendermos as interações ocorridas entre abelhas e os demais compostos. Apesar da boa representatividade apresentada, atualmente sabe-se que em muitos casos as reações e resultados não são os mesmos para abelhas do gênero *Apis* e as demais espécies, como as abelhas sem ferrão, ocorrendo diferentes tolerâncias para pesticidas como ocorre com o tiametoxam, glifosato e tebuconazol, quando comparados os efeitos em *A. mellifera* e para as espécies *Tetragonisca angustula*, *Scaptotrigona postica* e *Melipona scutellaris* (Lourencetti et al., 2023). Dessa forma, buscando uma melhor representatividade de como as atividades do campo podem atingir os polinizadores, o uso de abelhas nativas se mostra como melhor opção a ser utilizada.

Nesse sentido, é preciso expandir os atuais horizontes das linhas de pesquisas para abranger uma


gama mais ampla de pesticidas, principalmente em uma das classes menos representada nos estudos ecotoxicológicos, a dos herbicidas, além de utilizar abelhas nativas sem ferrão como parâmetros de validação, a fim de aumentar a compreensão do impacto dessas moléculas e fornecer subsídios para a implementação de estratégias de manejo eficientes e sustentáveis em nosso país.


O presente trabalho teve como objetivo realizar um levantamento sistemático da literatura científica nacional sobre o impacto dos herbicidas nas abelhas, visando obter uma compreensão abrangente do estado atual do conhecimento nesse campo e identificar lacunas que necessitam de investigação adicional.

2. Material e Métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas duas das principais ferramentas online de busca para artigos científicos no Brasil, o Google Acadêmico e a plataforma SciELO Brasil, utilizando uma lista de palavras-chave pré-determinadas (Tabela 1), elaborada com base nos principais assuntos e tópicos a serem abordados nesta pesquisa. A construção dessa lista buscou abordar os diferentes pilares do objetivo central, sendo eles, as abelhas nativas, os herbicidas e os efeitos tóxicos que eles podem acarretar utilizando tanto a língua portuguesa quanto a língua inglesa, sendo este idioma adotado exclusivamente para as buscas realizadas dentro do Google Acadêmico, para a coleta de dados.

Tabela 1 - Descrição das palavras-chave empregadas para busca e seleção dos artigos científicos a serem utilizados neste trabalho, de modo que, temos separado por linha as combinações de palavras utilizadas e por colunas as palavras escritas separadamente.

Palavras-chave - Português (PT-BR) 					
	1	2	3	4	5
1	Abelhas	Nativas	herbicidas		
2	Abelhas	Nativas	herbicidas	toxicidade	
3	Abelhas	Nativas	pesticidas		
4	Abelhas	Nativas	pesticidas	toxicidade	
5	Abelhas	Nativas	herbicidas	pesticidas	
6	Abelhas	Nativas	herbicidas	pesticidas	toxicidade
7	Abelhas	Nativas	herbicidas	agrotóxicos	
8	Abelhas	Nativas	herbicidas	agrotóxicos	toxicidade
9	Abelhas	sem-ferrão	herbicidas		
10	Abelhas	sem-ferrão	herbicidas	toxicidade	
11	Abelhas	sem-ferrão	pesticidas		
12	Abelhas	sem-ferrão	pesticidas	toxicidade	
13	Abelhas	sem-ferrão	herbicidas	pesticidas	
14	Abelhas	sem-ferrão	herbicidas	pesticidas	toxicidade

Palavras-chave - Inglês (EN) 					
	1	2	3	4	5
1	Native	bees	herbicide		
2	Native	bees	herbicide	toxicity	
3	Native	bees	pesticide		
4	Native	bees	pesticide	toxicity	
5	Native	bees	herbicide	pesticide	
6	Native	bees	herbicide	pesticide	toxicity

7	Stingless	bees	herbicide		
8	Stingless	bees	herbicide	toxicity	
9	Stingless	bees	pesticide		
10	Stingless	bees	pesticide	toxicity	
11	Stingless	bees	herbicide	pesticide	
12	Stingless	bees	herbicide	pesticide	toxicity

Fonte: Elaboração própria.

Para a classificação dos artigos como “Elegíveis” a serem utilizados neste trabalho, ou seja, válidos para avaliação e análise, eles precisaram atingir alguns critérios de elegibilidade (Tabela 2) definidos previamente pelos autores, que ditaram o escopo de forma mais específica, selecionando apenas os que agregariam para a discussão e desenvolvimento do objetivo principal. Dentro dos assuntos abordados, era necessário a utilização de pelo menos uma espécie de abelha nativa brasileira como organismo alvo; pelo menos uma molécula utilizada para exposição classificada como herbicida segundo o MAPA; avaliação de efeitos adversos as abelhas, e análise estatística clara e com procedimentos replicáveis, averiguando a confiabilidade dos resultados. Pontos como, o uso exclusivo de pesticidas não classificados como herbicidas, ou o uso exclusivo de espécies de abelhas exóticas, serviram como impedimento para a inclusão do artigo na análise. Os critérios foram determinados com o objetivo de triar e classificar os artigos que possuíam as informações necessárias para o desenvolvimento deste trabalho, permitindo abordar apenas os tópicos de interesse.

Os artigos selecionados para a análise durante o levantamento foram submetidos a uma nova classificação, dessa vez, com base nos critérios presente na Tabela 2, onde foram avaliados individualmente

Após a triagem, os artigos foram catalogados em nossa planilha de controle (Tabela 3), onde foram lidos e avaliados individualmente, preenchendo uma lista de informações sobre os trabalhos e assim os classificando quanto a trabalhos “Eleitos” e “Não eleitos”.

Tabela 2 - Listagem dos critérios de seleção e classificação de elegibilidade, separando por tópico cada etapa e descrevendo os pontos abordados em cada uma delas.

Critérios para exclusão da triagem para Avaliação de Elegibilidade
<ul style="list-style-type: none"> • Artigos em língua que não seja o inglês ou o português; • Artigos com publicação anterior ao ano de 2000; • Artigos indicando exclusivamente avaliações com <i>Apis mellifera</i> e/ou qualquer outra abelha exótica em seu título; • Artigos indicando o uso exclusivo de outras classes de pesticidas no título, não foram selecionados. • Artigos com "revisões bibliográficas", "revisões sistemáticas" e "meta análises" em seu título*
Dentre os trabalhos analisados, foram classificados como “Não elegíveis”
<ul style="list-style-type: none"> • Apenas compilavam dados de terceiros, como revisões bibliográficas, meta-análises e revisões sistemáticas; • Não utilizaram ao menos uma espécie de abelha nativa dentre os indivíduos expostos; • Não utilizaram moléculas aplicadas para o controle de plantas daninhas de acordo com o MAPA; • Não avaliaram os danos direcionados aos indivíduos.
Demais classificações
<ul style="list-style-type: none"> • Artigos como "revisões bibliográficas", "revisões sistemáticas" e "meta análises" foram classificados como "Revisão/Outro";* • Artigos sem indicação no título, mas que utilizaram <i>A. mellifera</i>, foram classificados como "Utiliza <i>Apis mellifera</i>".*

***Nota:** Alguns critérios da triagem se repetem na classificação, pois, muitos artigos não indicam quais espécies serão avaliadas em seu título, necessitando uma posterior avaliação detalhada. **Fonte:** Elaboração própria.

Todos os artigos encontrados através dos recursos de pesquisa foram posteriormente catalogados em nossa planilha de controle (Tabela 3 e 4), que inclui os trabalhos avaliados e um compilado das informações mais pertinentes para o presente trabalho, como o nome dos artigos, autores, local de publicação, espécies nativas utilizadas, ingrediente ativo (i.a) de herbicidas, dosagens, efeitos subletais, análise estatística, dentre outros tópicos. Observa-se nesta planilha que, quando alguns pontos determinantes não foram respondidos de acordo com o pré-determinado, esses trabalhos foram classificados como “Não eleitos”, deixando destacado em vermelho o ponto que levou essa tomada de decisão.

Tabela 3 - Resumo dos trabalhos eleitos avaliados, identificando as principais características avaliadas para sua classificação e para discussão, sendo a identificação do (s) herbicida (s), espécie (s) de abelha (s), grupo de herbicidas, se houve ou não avaliação por ingestão ou exposição tópica, se houve ou não efeito subletal ou letal observado e a referência.

Nº	Status	Ingrediente Ativo (Herbicida)	Espécie(s) de abelha(s)	Grupo de Herbicidas	Ingestão?	Tópico?	Efeito subletal?	Efeito letal?	Referência
1	Eleito	Glifosato	<i>Melipona quadrifasciata quadrifasciata</i>	G	Sim	Não	Sim	Não	Da Silva et al. (2022)
2	Eleito	Glifosato	<i>Melipona quadrifasciata</i>	G	Sim	Não	Não	Sim	Seide et al. (2018)
3	Eleito	Glifosato	<i>Nannotrigona testaceicornis, Tetragonisca angustula e Tetragona elongata</i>	G	Não	Não	Não	Não	Guimarães-Cestaro et al. (2020)
4	Eleito	Glifosato	<i>Melipona Capixaba e Apis mellifera</i>	G	Sim	Sim	Sim	Sim	Gomes (2023)
5	Eleito	Mesotriona + Atrazina	<i>Partamona helleri</i>	F e C1	Sim	Não	Sim	Não	Araújo; Bernardes; Martins (2021)
6	Eleito	Nicosulfuron e Paraquat	<i>Tetragonisca angustula e Tetragonisca fiebrigi</i>	B e D	Sim	Não	Sim	Sim	Fermino et al. (2011)
7	Eleito	Glifosato	<i>Melipona quadrifasciata</i>	G	Sim	Não	Sim	Não	Bernardes et al. (2022)
8	Eleito	Glifosato	<i>Plebeia lucii</i> Moure	G	Sim	Não	Sim	Sim	Ferreira et a. (2023)
9	Eleito	Glifosato, 2,4-D e Picloram	<i>Melipona scutellaris</i>	G, O e O	Sim	Sim	Não	Sim	Nocelli; Soares; Monquero (2019)
10	Eleito	Fluazifope-P-butílico, cletodim e metribuzin	<i>Melipona quadrifasciata</i>	A, A e C1	Sim	Não	Não	Sim	Lopes (2021)
11	Eleito	Glifosato	<i>Melipona scutellaris e Apis mellifera</i>	G	Sim	Não	Não	Sim	Barsotti; Grella; Nocelli (2021)

12	Eleito	Paraquat e Diquat	<i>Scaptotrigona bipunctata</i>	D	Sim	Sim	Não	Sim	Peruzzolo; Grange; Ronqui (2021) Sousa
13	Eleito	Glifosato	<i>Tetragonisca angustula</i>	G	Sim	Não	Sim	Sim	Prado et al. (2022)
14	Eleito	Glifosato	<i>Frieseomelitta varia</i>	G	Sim	Não	Sim	Não	Silva (2021)
15	Eleito	2,4-D e Glifosato	<i>Scaptotrigona aff. xanthotricha</i>	G e O	Não	Sim	Sim	Sim	Souza (2021)
16	Eleito	Glifosato	<i>Tetragonisca angustula</i>	G	Sim	Não	Sim	Sim	Chaves (2020)
17	Eleito	Glifosato	<i>Melipona quadrifasciata quadrifasciata</i>	G	Sim	Não	Não	Não	Matos (2021)
18	Eleito	Glifosato	<i>Melipona quadrifasciata</i>	G	Sim	Não	Sim	Não	Grella (2022)
19	Eleito	haloxifope-P-metílico	<i>Apis mellifera, Trigona spinnipes, Paratrigona lineata</i>	A	Não	Não	Sim	Não	Oliveira (2021)
20	Eleito	Glifosato	<i>Scaptotrigona postica</i>	G	Sim	Não	Sim	Não	Grando (2022)
21	Eleito	Glifosato	<i>Nannotrigona testaceicornis.</i>	G	Não	Sim	Sim	Sim	Dos Santos et al. (2022)
22	Eleito	Glifosato	<i>Partamona helleri</i>	G	Sim	Não	Sim	Não	Botina et al. (2023)
23	Eleito	Glifosato	<i>Bombus terrestris audax</i>	G	Não	Sim	Não	Não	Straw; Carpentier; Brown (2021)

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 4 - Continuação da Tabela 3, contendo agora o resumo dos trabalhos classificados como “Não eleitos”, “*Apis mellifera*” e” Revisões/Outro”, identificando as principais características avaliadas para sua classificação e para discussão, sendo a identificação do(s) herbicida(s), espécie(s) de abelha(s), grupo de herbicidas, se houve ou não avaliação por ingestão ou exposição tópica, se houve ou não efeito subletal ou letal observado e a referência.

Nº	Status	Ingrediente Ativo	Espécie(s)	Grupo de Herbicidas	Ingestão?	Tópico?	Efeito subletal?	Efeito letal?	Referência
25	Utiliza <i>Apis mellifera</i>	Glifosato	<i>Apis mellifera</i>	---	---	---	---	---	Antunes et al. (2023)
26	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	Boff et al. (2018)
27	Não eleito	Glifosato	<i>Apis mellifera e Hypotrigona ruspolti</i> (Magretti)	---	---	---	---	---	Abraham et al. (2018)
28	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	Almeida et al. (2021)
29	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	Cham et al. (2019)

30	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	Grella et al. (2019)
31	Não eleito	---	Abelhas nativas dos EUA	---	---	---	---	---	Hladik; Vandever; Smalling (2016)
32	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	Hall et al. (2021)
33	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	Tomé et al. (2016)
34	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	Shimizu & Mourão (2022)
35	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	Valdovinos-Neuñz et al. (2009)
36	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	De Souza Rosa et al. (2015)
37	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	Botina et al. (2020)
38	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	Belsky & Joshi (2020)
39	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	Da Luz et al. (2019)
40	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	Real-Luna et al. (2022)
41	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	Lima et al. (2016)
42	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	Pinto (2015)
43	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	Monquero & Oliveira (2018)
44	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	Faita; Chaves; Nodari (2021)
45	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	Freitas & Pinheiro (2010)
46	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	Ruiz-Toledo & Sánchez; Penilla-Navarro (2022)
47	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	Rosa-Fontana et al. (2020)
48	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	Devillers & Pham-Delegue (2002)

Fonte: Elaboração própria.

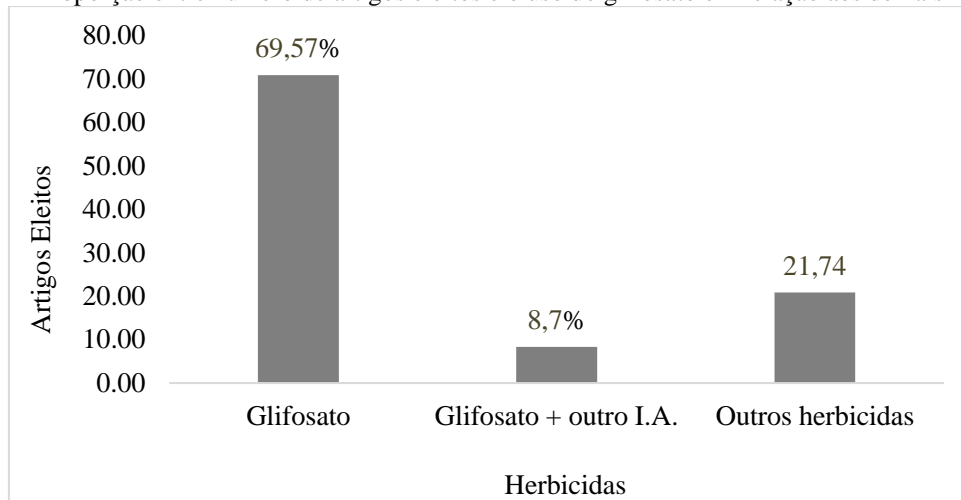
3. Resultados e Discussão

Com base nos artigos selecionados para integrarem esta revisão sistemática, observam-se alguns padrões quando se trata de estudos que abordam a interação entre herbicidas e abelhas nativas. O primeiro deles, talvez o mais significativo, diz respeito ao uso constante do glifosato como molécula testada nas abelhas nativas, seja por via tópica (Dos Santos et al., 2022), oral (Matos, 2021), em dosagens de campo (Seide, 2018) ou com subdoses (Gomes, 2023). Nestes estudos, são empregados diversos métodos de avaliação, abrangendo desde os efeitos agudos até os crônicos.

Para fins de comparação, foram selecionados 23 artigos científicos para este trabalho, dos quais 18 (78,26%) utilizaram o glifosato nos testes, seja como único herbicida ou combinado com outras moléculas. Destes 18 estudos, 16 (69,57%) empregaram exclusivamente o glifosato para suas avaliações (Figura 1). Apenas 21,74% dos artigos selecionados não incluíram o glifosato entre os herbicidas avaliados, o que representa apenas 5 artigos dos 48 totais (Tabela 3 e 4), aproximadamente 10,4%.

Ao comparar a quantidade de ingredientes ativos mais vendidos de herbicidas no Brasil (Tabela 5), observa-se uma proporção desproporcional entre os artigos que abordam exclusivamente o glifosato e sua representatividade comercial. Atualmente, o glifosato representa 59,24% dos dez herbicidas mais comercializados (Figura 2), o que representa um aumento de 17,43% em relação à sua representatividade nos trabalhos que o utilizam exclusivamente (Figura 1). Em comparação, o segundo colocado, 2,4-D, é abordado em apenas 8,7% (2) dos artigos, enquanto sua fatia de mercado é de 16,77% dentre os herbicidas, sugerindo que seria necessário um aumento de 92,75% nos estudos publicados para que sua representatividade igualasse sua proporção de comercialização no mercado.

Figura 1 - Proporção entre número de artigos eleitos e o uso do glifosato em relação aos demais herbicidas.



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5 - Relação dos 10 herbicidas mais comercializados, indicando sua quantidade e porcentagem, proporcionalmente ao seu total.

Comercialização de Herbicidas - Brasil 2021		
Ingrediente ativo (i.a.)	t de i.a.	%
Glifosato	219.581,34	59,24
2,4-D	62.165,70	16,77
Atrazine	37.298,57	10,06
Cletodim	9.750,70	2,63
S-metolaclo-ro	9.374,02	2,53
Diquat	8.091,26	2,18
Diuron	6.847,22	1,85
Glufosinato - sal de amônio	6.627,19	1,79
Clomazona	6.177,63	1,67
Picloram	4.779,02	1,29
Total	370.692,66	100

Fonte: IBAMA (2022a).

Figura 2 - Porcentagem total (%) dos dez herbicidas mais comercializados no Brasil em 2021.



Fonte: IBAMA (2022a).

Estes dados destacam como a comunidade científica tem se concentrado na compreensão dos detalhes do herbicida glifosato, enquanto outros herbicidas, como 2,4-D, atrazina, cletodim, entre outros, parecem ter recebido menos atenção, apesar de serem amplamente comercializados no Brasil (IBAMA, 2022a). Isso pode ter sido observado neste estudo devido às limitações no escopo da busca utilizada, que se restringiu ao Google Acadêmico e ao SciELO Brasil. É crucial salientar que outros compostos podem ser igualmente ou até mais tóxicos que o próprio glifosato. Por exemplo, Peruzzolo et al. (2021), após testes com *Scaptotrigona bipunctata* utilizando o ingrediente ativo dicamba, observaram uma redução na longevidade dos indivíduos expostos à alimentação contaminada. Tais efeitos e possíveis problemas adicionais frequentemente passam despercebidos, resultando na aplicação contínua de outras moléculas sem o devido monitoramento e atenção.

Estudos recentes têm investigado o impacto do 2,4-D, herbicida considerado pelo Ibama como de Classe III, ou seja, moderadamente prejudicial ao ambiente, com fácil propensão a volatilidade e à deriva. Esses estudos demonstraram efeitos deletérios no tempo de vida das operárias, bem como efeitos neurotóxicos, incluindo a diminuição do reconhecimento de alimento e dificuldades de locomoção após o contato (Souza, 2021). Este exemplo destaca a lacuna existente em nossa compreensão dos efeitos dos diversos herbicidas no campo. Até o momento, apenas dois artigos (Nocelli, Soares e Monquero, 2019; Souza, 2021) abordaram essa molécula em relação à exposição das nossas abelhas nativas.

Outro exemplo é o herbicida metribuzin, que foi objeto de estudo para avaliar seus efeitos em abelhas nativas em apenas uma pesquisa, juntamente com os ingredientes ativos fluazifope-P-butílico e cletodim. Neste estudo, foi observado um significativo aumento na mortalidade e diminuição na expectativa de vida das operárias de *Melipona quadrifasciata*, mesmo com uma subdose equivalente a 1/100 da dose de campo. Com uma redução de 40% em seu TL50, o metribuzin foi considerado o mais tóxico entre os três herbicidas analisados (Lopes et al., 2021). Esses resultados evidenciam a necessidade de realizar novas pesquisas para ampliar nosso entendimento sobre os impactos que essas moléculas podem causar nas espécies nativas. Além disso, é fundamental realizar replicação dos estudos para confirmar e assegurar os resultados iniciais, seguidos por testes que incluam avaliações neurotóxicas.

Quanto à posição dos herbicidas nos estudos levantados em relação aos pesticidas mais vendidos, ela é variada. Apenas cinco moléculas estão entre as vinte primeiras em vendas de pesticidas, enquanto outras estão classificadas entre as 75 primeiras até posições posteriores à 200ª colocação. Vale destacar que o herbicida paraquat já é uma molécula proibida em nosso território (Tabela 6).

Tabela 6 - Classificação das moléculas presentes nos estudos elegíveis e suas posições gerais dentre os demais pesticidas comercializados no Brasil no ano de 2021.

Ingrediente ativo	Mecanismo de Ação	Posição Geral de Venda
Glifosato	Inibição de EPSPS sintase (G)	1º
2,4-D	Mimetizadores de auxina (O)	2º

Atrazina	Inibição da fotossíntese no fotossistema II (C2)	5°
Cletodim	Inibição da acetil CoA carboxilase (ACCCase) (A)	8°
Diquat	Inibição da fotossíntese no fotossistema I (D)	14°
Picloram	Mimetizadores de auxina (O)	22°
Haloxifope-P-metílico	Inibição da acetil CoA carboxilase (ACCCase) (A)	36°
Mesotriona	Inibição da biossíntese de carotenóides na fitoeno desaturase (PDS) (F)	69°
Metribuzin	Inibição da fotossíntese no fotossistema II (C1)	73°
Nicosulfuron	Inibição da acetolactato sintase (ALS) (B)	172°
Fluazifope-P-butílico	Inibição da acetil CoA carboxilase (ACCCase) (A)	236°
Paraquat	Inibição da fotossíntese no fotossistema I (D)	Proibido*

Fonte: IBAMA (2022a).

Apesar do foco concentrado na validação dos efeitos gerados pelo glifosato em abelhas nativas, atualmente não há cobertura dos dez herbicidas mais vendidos em território nacional (Tabela 7). Assim, quatro entre os dez ingredientes ativos não possuem dados validados diretamente com as espécies, testando seu comportamento, taxa de mortalidade, efeitos subletais, entre outros aspectos a serem abordados.

Tabela 7 - Relação dos dez i.a. da classe dos herbicidas mais comercializados no Brasil em 2021, indicando sua posição e destacando os produtos que não são contemplados nos artigos eleitos.

Ingrediente Ativo	Mecanismo de Ação	Posição de Vendas
Glifosato	Inibição de EPSPS sintase (G)	1°
2,4-D	Mimetizadores de auxina (O)	2°
Atrazina	Inibição da fotossíntese no fotossistema II (C2)	3°
Cletodim	Inibição da acetil CoA carboxilase (ACCCase) (A)	4°
S-metolacoloro*	Inibição da divisão celular (K3)	5°
Diquat	Inibição da fotossíntese no fotossistema I (D)	6°
Diuron*	Inibição da fotossíntese no fotossistema II (C2)	7°
Glufosinato - sal de amônio *	Inibição da glutamina sintase (H)	8°
Clomazona*	Inibição da biossíntese de carotenóides na fitoeno desaturase (PDS) (F)	9°
Picloram	Mimetizadores de auxina (O)	10°

*Herbicidas não abordados em nenhum artigo elegível.

Fonte: IBAMA (2022a).

Quando são buscados outros parâmetros para justificar a predominância do glifosato em pesquisas, a ação toxicológica desse herbicida em organismos não-alvo pode ser encontrada em avaliações governamentais, como o perfil ambiental liberado pelo IBAMA. Nesse documento, são avaliadas diversas características do glifosato, incluindo sua composição, propriedades físico-químicas, bioacumulação, toxicidade para organismos não-alvo e comportamento no solo. Esses dados são importantes para compreender o produto utilizado e seu potencial impacto no ambiente em que será aplicado (IBAMA, 2022b).

Atualmente, apesar da recente atualização dos parâmetros e metodologias utilizados para avaliar

agrotóxicos em abelhas, conforme exposto no "Manual de Avaliação de Risco Ambiental de Agrotóxicos Para Abelhas" do IBAMA (Cham et al., 2017), ainda são estabelecidos para vários ingredientes ativos registrados antes desse período alguns padrões metodológicos (definidos por OECD, EPA, NBRs e Manual do IBAMA). Nestes padrões, a espécie *Apis mellifera* é a única representante deste grupo e é aplicada em todos os perfis ambientais publicados. O parâmetro abordado é a avaliação da DL50 (dose letal média) por contato, oral ou ambas as vias, seguida de limites para classificação indicados como: $0 \leq DL50 < 2 \mu\text{g/abelha}$ = Altamente tóxico (I); $2 \leq DL50 \leq 11 \mu\text{g/abelha}$ = Medianamente tóxico (II); $DL50 > 11 \mu\text{g/abelha}$ = Pouco tóxico (III) (IBAMA, 2022b).

Dessa forma, com base nos dados presentes nos perfis ambientais, observa-se que sete dos dez ingredientes ativos (i.a.) mais comercializados, incluindo herbicidas como glifosato (todos os sais), cletodim, 2,4-D, atrazina, clomazona, s-metolaclo e metribuzin, são todos classificados como "pouco tóxicos" ($DL50 > 11 \mu\text{g/abelha}$). Isso pode sugerir uma certa segurança sobre o seu uso, conforme indicado nas classificações oficiais. Entretanto, como evidenciado nos artigos apresentados, essa classificação nem sempre reflete o que ocorre na prática, especialmente com nossas espécies nativas (IBAMA, 2022b). Além dos mencionados, o mesotriona é o único herbicida aplicado nos trabalhos eleitos que não está entre os dez mais comercializados no Brasil. Apesar disso, ele também foi avaliado e classificado como "pouco tóxico", embora tenha sido o que mais se aproximou do limite ($> 11 \mu\text{g/abelha}$) dentre todos os analisados.

Os demais ingredientes ativos não citados, mas que apareceram nos artigos ou estão entre os mais comercializados, não possuem perfis ambientais disponibilizados pelo IBAMA. Essa lacuna de informação é importante para nossa compreensão dos riscos associados ao uso desses agrotóxicos (IBAMA, 2022b).

Avaliando os danos apresentados nos 23 trabalhos eleitos reunidos nesta revisão, foram obtidos diversos resultados devido às diferentes avaliações propostas para os indivíduos. Além do método empregado, houve alternância entre aplicações em adultos e larvas, resultando em um conjunto heterogêneo de dados. No entanto, isso ainda permitiu uma compreensão padrão em alguns aspectos.

Ao classificar os grupos estudados (Tabela 8) de acordo com o estágio de desenvolvimento das abelhas, observamos que 19 artigos (82,61%) utilizaram adultos para a realização de seus estudos. Esses estudos buscaram, de forma geral, avaliar a letalidade dos herbicidas e seus efeitos subletais, como a capacidade de voo, alterações morfológicas e influência nos mecanismos celulares das abelhas, que foram expostas por vias oral e tópica. Outros 4 artigos (17,39%) trabalharam exclusivamente com larvas, determinando a mortalidade quando ocorrida a exposição prematura, buscando compreender os efeitos dessa exposição via alimentação, replicando cenários onde os pesticidas são levados a colônia por meio de alimentos contaminados e quais seus efeitos nesta fase de desenvolvimento, que comprometeria o futuro da colônia e seu próximo ciclo de indivíduos.

Tabela 8 - Classificação da quantidade de artigos eleitos que abordam as abelhas em suas diferentes fases de desenvolvimento, adultos ou larvas, seguido da sua porcentagem quanto ao total de artigos elegíveis.

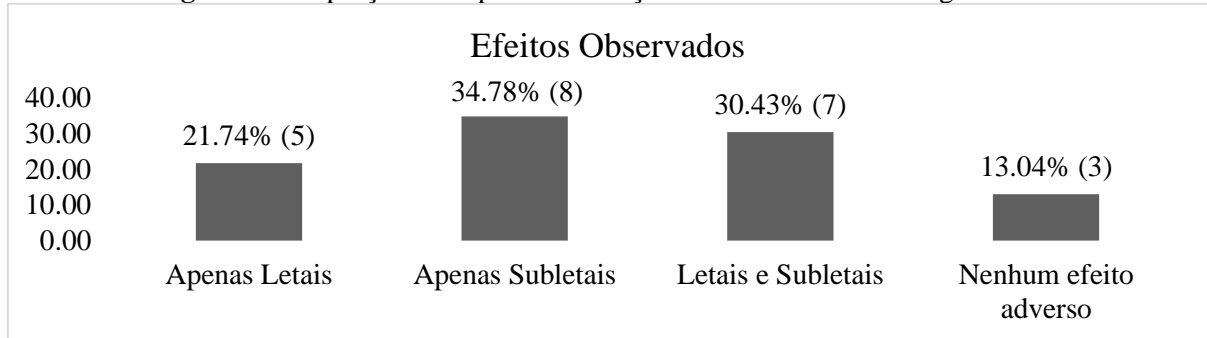
Fase de Desenvolvimento	Quantidade	Porcentagem
Adultos	19	82,61
Larvas	4	17,39
Total	23	100

Fonte: Elaboração própria.

Dos efeitos listados, podem ser divididos entre trabalhos que apresentaram efeitos letais, seja agudo ou crônico, diminuindo a expectativa de vida dos indivíduos; trabalhos com resultados referentes a avaliações subletais, que não levaram à morte das abelhas, mas ainda assim geraram algum tipo de alteração; e aqueles que não observaram nenhum efeito adverso nos indivíduos testados, não havendo diferenças estatísticas entre os grupos de exposição e o grupo controle. Com 23 artigos eleitos, os efeitos

foram categorizados em 4 tipos diferentes (Figura 3): "apenas letais" (5), "apenas subletais" (8), "letais e subletais" (7) e "nenhum efeito adverso" (3). Os efeitos letais foram observados em um total de 52,17% dos artigos (12), enquanto os subletais compreendem uma faixa de 34,78% (8) quando categorizados como único tipo de efeito observado e 65,22% (15) quando incorporados aos artigos que determinaram efeitos letais + efeitos subletais em suas avaliações. Em apenas 3 (13,04%) dos artigos, nenhum efeito adverso foi observado, sendo esses avaliados exclusivamente com o glifosato.

Figura 3 - Proporção dos tipos de avaliações realizadas nos 23 artigos eleitos.



Dos efeitos subletais avaliados, podem ser identificadas subcategorias que indicam os principais pontos abordados. Entre eles, destacam-se as alterações celulares e do metabolismo (6 artigos), alterações na atividade locomotora (4 artigos), diminuição da capacidade de voo (2 artigos), e alterações morfológicas (2 artigos), entre outros. Efeitos abordados com menor frequência incluem uma menor resposta a estímulos por luz, alteração no reflexo da extensão da probóscide (avaliando a resposta a alimentos), diminuição de interações entre pares, diminuição no consumo de alimento e menor visitação durante o forrageamento em flores. Estes efeitos podem coexistir e ser compartilhados pelos mesmos artigos, não sendo um trabalho exclusivo para cada ponto abordado (conforme apresentado na Tabela 9).

Tabela 9 - Comparativo entre os diferentes efeitos subletais observados pelos herbicidas para os artigos eleitos.

Nº	Status	Herbicida(s)	Espécie(s)	Apresenta efeito subletal?	Alteração celular	Diminuição visita floral	Diminuição das interações	Alteração da Capacidade de vôo	Redução do consumo de alimento	Alteração atividade locomotora	Diminuição da longevidade	Não responder estímulo luz	REP	Alteração morfológica	Referência
1	Eleito	Glifosato	<i>Melipona quadrifasciata</i>	Sim	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Da Silva et al. (2022)
4	Eleito	Glifosato	<i>Melipona Capixaba e Apis mellifera</i>	Sim	NA	NA	NA	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Gomes (2023)
5	Eleito	Mesotriona + Atrazina	<i>Partamona helleri</i>	Sim	Sim	NA	NA	NA	Sim	Sim	NA	NA	NA	NA	Araújo; Bernardes; Martins (2021)
6	Eleito	Nicosulfuron e Paraquat	<i>Tetragonisca angustula e Tetragonisca fiebrigi</i>	Sim	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Fermino et al. (2011)
7	Eleito	Glifosato	<i>Melipona quadrifasciata</i>	Sim	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Bernardes et al. (2022)
8	Eleito	Glifosato	<i>Plebeia lucii</i> Moure	Sim	NA	NA	NA	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Ferreira et al. (2023)
13	Eleito	Glifosato	<i>Tetragonisca angustula</i>	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	Sim	NA	Sim	NA	NA	Sousa Prado et al. (2022)
14	Eleito	Glifosato	<i>Frieseomelitta varia</i>	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Sim	Silva (2021)
15	Eleito	2,4-D e Glifosato	<i>Scaptotrigona aff. xanthotricha</i>	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	Sim	NA	NA	Sim	NA	Souza (2021)
16	Eleito	Glifosato	<i>Tetragonisca angustula</i>	Sim	NA	NA	Sim	NA	NA	NA	Sim	NA	NA	NA	Chaves (2020)
18	Eleito	Glifosato	<i>Melipona quadrifasciata</i>	Sim	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Grella (2022)

19	Eleito	Haloxifope-P-metilico	<i>Apis mellifera, Trigona spinnipes, Paratrigona lineata</i>	Sim	NA	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Oliveira (2021)
20	Eleito	Glifosato	<i>Scaptotrigona postica</i>	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Sim	Grando (2022)
21	Eleito	Glifosato	<i>Nannotrigona testaceicornis.</i>	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	Sim	NA	NA	NA	NA	Dos Santos et al. (2022)
22	Eleito	Glifosato	<i>Partamona helleri</i>	Sim	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Botina et al. (2023)

Fonte: Elaboração própria.

Para fins quantitativos, observa-se que, apesar da quantidade relativamente baixa de avaliações relacionadas aos efeitos causados por herbicidas em abelhas sem ferrão e do uso predominante do glifosato como principal ingrediente ativo estudado, as avaliações, especialmente as subletais e voltadas para efeitos além da mortalidade, demonstram uma ampla diversidade. Isso proporciona uma compreensão abrangente das possíveis consequências adversas que esses produtos podem estar provocando nas abelhas nativas. No entanto, há uma capacidade limitada de comparação entre as avaliações para diferentes ingredientes ativos.

Um dos caminhos mais recomendados consiste em investigar pelo menos os efeitos sobre a sobrevivência das abelhas frente aos dez principais herbicidas comercializados no Brasil. Realizar análises dos faltantes ampliaria nosso escopo de análises para englobar a parcela mais significativa de pesticidas empregados nas práticas agrícolas. Outra abordagem que poderia enriquecer nossa base científica seria padronizar as determinações de efeitos subletais. Atualmente, temos uma ampla gama de análises realizadas para os herbicidas, mas estas não se comunicam, o que dificulta a comparação desses efeitos.

4. Conclusão

Este trabalho proporcionou uma visão abrangente do que está disponível em nossa literatura científica nacional sobre os efeitos toxicológicos que os herbicidas causam em abelhas sem ferrão, evidenciando as forças e fraquezas sobre o assunto.

A partir dos dados apresentados, é possível traçar diversos caminhos a serem seguidos para construir uma base mais sólida e embasada. Atualmente, temos mapeados os efeitos do glifosato como nenhum outro herbicida, com diversas avaliações e metodologias aplicadas. Isso se deve em grande parte à sua fatia expressiva de mercado, que proporcionou um entendimento bastante completo de sua ação nestes polinizadores.

No entanto, é preocupante os poucos dados sobre outros herbicidas. Estes ingredientes ativos menos estudados, apesar de não possuírem o mesmo peso comercial, podem apresentar um impacto considerável, com efeitos letais e subletais observáveis quando testados, e seu uso está presente em muitas áreas agrícolas do país.

5. Referências

Abraham, J., Benhotons, G. S., Krampah, I., Tagba, J., Amisah, C., & Abraham, J. D. (2018). Commercially formulated glyphosate can kill non-target pollinator bees under laboratory conditions. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, 166(8), 695–702. <https://doi.org/10.1111/EEA.12694>

Almeida, C. H. S., Haddi, K., Toledo, P. F. S., Rezende, S. M., Santana, W. C., Guedes, R. N. C., Newland, P. L., & Oliveira, E. E. (2021). Sublethal agrochemical exposures can alter honey bees' and Neotropical stingless bees' color preferences, respiration rates, and locomotory responses. **Science of The Total Environment**, 779, 146432. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.146432>

Antunes, B. C., Ribeiro, L. G., Roque, A. M., Ferreira, K. M. ., Winkaler, E. U., & Lhano, M. G. . (2023). Can the glyphosate herbicide cause behavioral changes in worker bees? **Research, Society and Development**, 12(6), e29412642439. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i6.42439>

Araújo, R. dos S., Bernardes, R. C., & Martins, G. F. (2021). A mixture containing the herbicides Mesotrione and Atrazine imposes toxicological risks on workers of *Partamona helleri*. **Science of The Total Environment**, 763, 142980. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.142980>

Barsotti, G.; Grella, T. C.; Nocelli, R. C. F. (2021). Determinação da TL50 de agrotóxicos para *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 e *Melipona scutellaris* Latreille, 1811 (Hymenoptera, Apidae). **XXVII CIC e XII CIDTI**. Araras, SP.

- Belsky, J., & Joshi, N. K. (2020). Effects of Fungicide and Herbicide Chemical Exposure on Apis and Non-Apis Bees in Agricultural Landscape. **Frontiers in Environmental Science**, 8, 522888. <https://doi.org/10.3389/FENVS.2020.00081/BIBTEX>
- Bernardes, R. C., Botina, L. L., da Silva, F. P., Fernandes, K. M., Lima, M. A. P., & Martins, G. F. (2022). Toxicological assessment of agrochemicals on bees using machine learning tools. **Journal of Hazardous Materials**, 424, 127344. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2021.127344>
- Boff, S., Friedel, A., Mussury, R. M., Lenis, P. R., & Raizer, J. (2018). Changes in social behavior are induced by pesticide ingestion in a Neotropical stingless bee. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 164, 548–553. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2018.08.061>
- Botina, L. L., Barbosa, W. F., Acosta, J. P. L., Bernardes, R. C., Cortes, J. E. Q., Pylro, V. S., Mendonça, A. C., Barbosa, R. C., Lima, M. A. P., & Martins, G. F. (2023). The impact of early-life exposure to three agrochemicals on survival, behavior, and gut microbiota of stingless bees (*Partamona helleri*). **Environmental Science and Pollution Research**, 30(27), 70143–70158. <https://doi.org/10.1007/S11356-023-27385-4/METRICS>
- Botina, L. L., Bernardes, R. C., Barbosa, W. F., Lima, M. A. P., Guedes, R. N. C., & Martins, G. F. (2020). Toxicological assessments of agrochemical effects on stingless bees (Apidae, Meliponini). *MethodsX*, 7, 100906. <https://doi.org/10.1016/J.MEX.2020.100906>
- Cham, K. O., Nocelli, R. C. F., Borges, L. O., Viana-Silva, F. E. C., Tonelli, C. A. M., Malaspina, O., Menezes, C., Rosa-Fontana, A. S., Blochtein, B., Freitas, B. M., Pires, C. S. S., Oliveira, F. F., Contrera, F. A. L., Torezani, K. R. S., Ribeiro, M. D. F., Siqueira, M. A. L., & Rocha, M. C. L. S. A. (2019). Pesticide Exposure Assessment Paradigm for Stingless Bees. **Environmental Entomology**, 48(1), 36–48. <https://doi.org/10.1093/EE/NVY137>
- Cham, K. De O.; Rebelo, R. M.; Oliveira, R. de P.; Ferro, A. A; Vianasilva, F. E. de C.; Borges, L. de O.; Saretto, C. O. S. D.; Tonelli, C. A. M.; Macedo, T.C. (2017). **Manual de avaliação de risco ambiental de agrotóxicos para abelhas**. Brasília: Ibama/Diqua. 105 p.
- Chaves, M. A. (2020). **Bioensaios em laboratório para análise do comportamento de *Tetragonisca angustula* sob influência de glifosato BioCarb®**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.
- CropLife. (2020). **Desmistificando a soja transgênica**. CropLife Brasil. <https://croplifebrasil.org/conceitos/desmistificando-a-soja-transgenica/>. Acesso em: 25 de out de 2023.
- CropLife. (2021). **O cultivo de plantas transgênicas no Brasil**. CropLife Brasil. <https://croplifebrasil.org/noticias/plantas-transgenicas-no-brasil/>. Acesso em: 25 de out de 2023.
- Da Luz, C. F. P., Fidalgo, A. de O., Silva, S. A. Y., Rodrigues, S. dos S., & Nocelli, R. C. F. (2019). Comparative floral preferences in nectar and pollen foraging by *Scaptotrigona postica* (Latreille 1807) in two different biomes in São Paulo (Brazil). **Grana**, 58(3), 200–226. <https://doi.org/10.1080/00173134.2019.1579257>

- Da Silva, P. C., Gonçalves, B., Franceschinelli, E., & Brito, P. (2022). Glyphosate-Based Herbicide Causes Cellular Alterations to Gut Epithelium of the Neotropical Stingless Bee *Melipona quadrifasciata* *quadrifasciata* (Hymenoptera: Meliponini). **Neotropical Entomology**, 51(6), 860–868. <https://doi.org/10.1007/S13744-022-01001-5>/METRICS
- De Souza Rosa, A., I'Anson Price, R., Ferreira Caliman, M. J., Pereira Queiroz, E., Blochtein, B., Sílvia Soares Pires, C., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2015). The stingless bee species, *Scaptotrigona* aff. *depilis*, as a potential indicator of environmental pesticide contamination. **Environmental Toxicology and Chemistry**, 34(8), 1851–1853. <https://doi.org/10.1002/ETC.2998>
- Devillers, J.; Pham-Delegue, M. H. (2002). Impact of agrochemicals on non-*Apis* beesle. **Honey Bees: Estimating the Environmental Impact of Chemicals**. 1. ed. CRC Press. p. 352.
- dos Santos, J. A., Barreto, L. M. R. C., Belisario, D. D. L., Chambó, E. D., Rebouças, J. S., Caldas, M. J. M., Conceição, J. S., Farias, É. O. D. S., Santos, E. F., Carvalho, C. A. L. de, dos Santos, J. A., Barreto, L. M. R. C., Belisario, D. D. L., Chambó, E. D., Rebouças, J. S., Caldas, M. J. M., Conceição, J. S., Farias, É. O. D. S., Santos, E. F., & Carvalho, C. A. L. de. (2022). TOXICIDADE DO GLIFOSATO EM *NANNOTRIGONA TESTACEICORNIS*. **OPEN SCIENCE RESEARCH IX**, 9(1), 49–59. <https://doi.org/10.37885/221211325>
- Faita, M. R.; Chaves, A.; Nodari, R. O. (2021). The expansion of agribusiness: harmful impacts of deforestation, pesticides and transgenics on bees. **Special issue - Agribusiness in times of planetary collapse: critical approaches**, v. 57, p. 79–105.
- Fermino, F., Ricardo, J., Falco, P., de Alencar, V., de Toledo, A., Claudia, M., & Ruvolo-Takasusuki, C. (2011). Isoenzymes and Cytochemical Analysis in *Tetragonisca angustula* and *Tetragonisca fiebrigi* After Herbicide Contamination. **Sociobiology**, Vol. 58, No. 2.
- Ferreira, E. A., Paixão, M. V. S., Koshiyama, A. S., & Lorenzon, M. C. A. (2013). MELIPONICULTURA COMO FERRAMENTA DE APRENDIZADO EM EDUCAÇÃO AMBIENTAL. **Ensino, Saude e Ambiente**, 6(3), 162–174. <https://doi.org/10.22409/RESA2013.V6I3.A21149>
- Ferreira, L. M. N., Hrcir, M., de Almeida, D. V., Bernardes, R. C., & Lima, M. A. P. (2023). Effects of acephate and glyphosate-based agrochemicals on the survival and flight of *Plebeia lucii* Moure, 2004 (Apidae: Meliponini). **Ecotoxicology**, 32(7), 926–936. <https://doi.org/10.1007/S10646-023-02698-9>/METRICS
- Freitas, B.; Pinheiro, J. (2010). Efeitos Sub-Letais dos Pesticidas Agrícolas e seus Impactos no Manejo de Polinizadores dos Agroecossistemas Brasileiros. **Oecologia Australis**, v. 14, p. 282–298.
- Freitas, B. M.; Nunes-Silva, P. (2012). **Polinização agrícola e sua importância no Brasil**. Polinizadores no Brasil: contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais, v. 1, p. 103-118. São Paulo, SP: EDUSP. Recuperado de <http://www.livrosabertos.edusp.usp.br/edusp/catalog/book/8>
- Gomes, I. N., Gontijo, L. M., Lima, M. A. P., Zanuncio, J. S., & Resende, H. C. (2023). The survival and flight capacity of commercial honeybees and endangered stingless bees are impaired by common

agrochemicals. **Ecotoxicology**, 32(7), 937–947. <https://doi.org/10.1007/S10646-023-02699-8/METRICS>

Grando, G. C. (2022). **Efeitos da combinação de agrotóxicos glifosato e imidacloprido no desenvolvimento, sistema imunológico e digestório de abelhas *Scaptotrigona postica* (Latreille, 1807)**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, Araras, SP, Brasil. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/17938>

Grella, T. C. (2022). **Coexposição de abelha nativa e exótica ao imidacloprido e glifosato: uma avaliação do sistema imune**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, SP, Brasil. <https://doi.org/10.17616/R31N39>.

Grella, T. C. et al. (2019). Semi-quantitative analysis of morphological changes in bee tissues: A toxicological approach. **Chemosphere**, v. 236, p. 124-255.

Guimarães-Cestaro, L., Martins, M. F., Martínez, L. C., Alves, M. L. T. M. F., Guidugli-Lazzarini, K. R., Nocelli, R. C. F., Malaspina, O., Serrão, J. E., & Teixeira, É. W. (2020). Occurrence of virus, microsporidia, and pesticide residues in three species of stingless bees (Apidae: Meliponini) in the field. **Science of Nature**, 107(3), 1–14. <https://doi.org/10.1007/S00114-020-1670-5/METRICS>.

Hall, M. A. et al. (2021). Temporal changes in the microbiome of stingless bee foragers following colony relocation. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 97, n. 1, p. fiae236.

Hladik, M. L., Vandever, M., & Smalling, K. L. (2016). Exposure of native bees foraging in an agricultural landscape to current-use pesticides. *Science of The Total Environment*, 542, 469–477. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2015.10.077>

HRAC-BR. (2023). **Mecanismos de Ação** | HRAC-BR. HRAC-BR - Comitê de Ação a Resistência Aos Herbicidas. <https://www.hrac-br.org/mecanismosdeacao>.

IBAMA. (2022, November 29). **Perfis Ambientais de Agrotóxicos** — Ibama. Governo Federal. <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/perfis-ambientais#lista-perfis>

IBAMA. (2022, November 29). **Relatórios de comercialização de agrotóxicos** — Ibama. Gov.Br. <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#boletinsanuais>

IBGE. (2022). **PAM - Produção Agrícola Municipal**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>. Acesso em: 25 de out de 2023.

Inoue, M. H., & Silvério De Oliveira, R. (2011). Capítulo 8 Resistência de Plantas Daninhas a Herbicidas. *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: **Omnipax**, p. 193-214.

Jacob, C. R. de O., Zanardi, O. Z., Malaquias, J. B., Souza Silva, C. A., & Yamamoto, P. T. (2019). The impact of four widely used neonicotinoid insecticides on *Tetragonisca angustula* (Latreille) (Hymenoptera: Apidae). **Chemosphere**, 224, 65–70. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2019.02.105>

- Lima, M. A. P., Martins, G. F., Oliveira, E. E., & Guedes, R. N. C. (2016). Agrochemical-induced stress in stingless bees: peculiarities, underlying basis, and challenges. **Journal of Comparative Physiology A** 2016 202:9, 202(9), 733–747. <https://doi.org/10.1007/S00359-016-1110-3>
- Lopes, L. T.; Monquero, P. A.; Nocelli, R. C. F. (2021). Avaliação da toxicidade residual de herbicidas sistêmicos da cultura do tomate (*Solanum lycopersicum* L) para a abelha *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1836. In: **XXVII CIC e XII CIDTI**.
- Lourencetti, A. P. S. (2022). **Sensibilidade de abelhas brasileiras a agrotóxicos: avaliação de risco ambiental baseada no modelo *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (Hymenoptera, Apidae)**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de São Carlos, Araras, SP, Brasil. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/17211>
- Macedo, R. C. (2016). **Toxicidade do acetamiprido e dimetoato para abelha *Scaptotrigona postica* latreille, 1804**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil. <https://doi.org/10.14393/UFU.DI.2016.500>
- Malagodi-Braga, K. S. (2018). A polinização como fator de produção na cultura do morango. **Comunicado Técnico**, Vol. 56. Embrapa. <https://www.researchgate.net/publication/325816781>
- Matos, I. V. de. (2021). **Bioensaio de toxicidade do herbicida glifosato (n-(phosphonomethyl) glycine) para abelha nativa sem ferrão *Melipona quadrifasciata quadrifasciata* (Lepeletier 1836) (Meliponinae, Apidae)**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, PR, Brasil. <http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/653351>
- Monquero, P. A., & Oliveira, A. S. (2018). Os herbicidas causam impactos na sobrevivência e desenvolvimento de abelhas? **Revista Brasileira de Herbicidas**, 17(1), 95–105. <https://doi.org/10.7824/RBH.V17I1.533>
- Monteiro, V. M. (2021). **Toxicidade de duas formulações comerciais de neonicotinoides para as abelhas nativas sem ferrão *Trigona aff fuscipennis* Friese 1900 e *Scaptotrigona aff depilis* Moure 1942 (Hymenoptera: Apidae)**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.
- Nocelli, R. C., F., Roat, T. C., Zacarin, E. C. M. da S., Malaspina, O. (2012). Riscos de Pesticidas sobre as Abelhas. **Semana dos Polinizadores**, v. 3, p. 196-212
- Nocelli, R. C. F., Soares, S. M. M., & Monquero, P. A. (2019). Effects of herbicides on the survival of the brazilian native bee *Melipona scutellaris* latreille, 1811 (Hymenoptera: Apidae). **Planta Daninha**, 37. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100156>
- Oliveira, A. C. de. (2021). **Efeitos tóxicos de produtos fitossanitários aplicados com diferentes espectros de gotas sobre polinizadores no girassol**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. MG, Brasil.
- Oliveira, C. M., Auad, A. M., Mendes, S. M., & Frizzas, M. R. (2014). Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection**, 56, 50–54. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2013.10.022>

- Peruzzolo, M. C., Grange, L., & Ronqui, L. (2021). MORTALIDADE DE ABELHAS SEM FERRÃO *Scaptotrigona bipunctata* SOB OS EFEITOS DOS HERBICIDAS PARAQUAT E DIQUAT. **Arquivos De Ciências Veterinárias E Zoologia Da UNIPAR**, 24(1cont).
<https://doi.org/10.25110/arqvet.v24i1cont.2021.8408>
- Pinto, D. da S. (2015). **Análise dos méis de abelhas do gênero *Melipona* (abelhas sem ferrão) através de LC-SPE/NMR, LC-BPSU/NMR e RMN aliada à quimiometria**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12260>
- Prado, I. S., Alves da Rocha, A., Alves Silva, L., & Cunha Gonzalez, V. (2022). Glyphosate affects *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) (Hymenoptera: Apidae) worker's locomotion, behavior and biology. **Ecotoxicology**, <https://doi.org/10.21203/RS.3.RS-2129592/V1>
- Ramos, J. D. (2021). **Potenciais efeitos da exposição a fungicidas agrícolas para abelhas-sem-ferrão imaturas: conservação de polinizadores e políticas públicas**. Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. <https://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/9902>
- Real-Luna, Natalia, Rivera-Hernández, Jaime Ernesto, Alcántara-Salinas, Graciela, Rojas-Malavasi, Geovanna, Morales-Vargas, Ana Paulina, & Pérez-Sato, Juan Antonio. (2022). Stingless bees (Tribe Meliponini) in Latin American agroecosystems. **Revista mexicana de ciencias agrícolas**, 13(2), 331-344. Epub 01 de agosto de 2022. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i2.2866>
- Rosa-Fontana, A., Dorigo, A. S., Galaschi-Teixeira, J. S., Nocelli, R. C. F., & Malaspina, O. (2020). What is the most suitable native bee species from the Neotropical region to be proposed as model-organism for toxicity tests during the larval phase? **Environmental Pollution**, 265, 114849.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.114849>.
- Ruiz-Toledo, J.; Sánchez, D.; Penilla-Navarro, R. P. (2022). The honey bee, *Apis mellifera*, cannot be used as a surrogate for the stingless bee *Scaptotrigona mexicana* to evaluate the effects of pesticide exposure in agricultural landscapes in Southern Mexico. p. 1–13.
- Seide, V. E., Bernardes, R. C., Pereira, E. J. G., & Lima, M. A. P. (2018). Glyphosate is lethal and Cry toxins alter the development of the stingless bee *Melipona quadrifasciata*. **Environmental Pollution**, 243, 1854–1860. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2018.10.020>
- Shimizu, M. Y., & Mourão, M. A. N. (2022). GESTÃO AMBIENTAL COMO FERRAMENTA MITIGADORA DE IMPACTOS AMBIENTAIS PROVOCADOS POR PESTICIDAS QUE AFETAM POPULAÇÕES DA ESPÉCIE DE ABELHA SEM FERRÃO *TETRAGONISCA ANGUSTULA* (HYMENOPTERA: APIDAE). **Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências e Educação**, 8(4), 1731–1749. <https://doi.org/10.51891/rease.v8i4.5190>
- Silva, G. M. da. (2022). **Efeitos toxicológicos da exposição oral do tiametoxam na abelha sem ferrão *Scaptotrigona postica* Latreille, 1807 (Hymenoptera, Apidae, Meliponini)**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, SP, Brasil.
<https://doi.org/10.17616/R31N39>
-

- Silva, J. A. da. (2021). **Criação in vitro da abelha sem ferrão *Frieseomelitta varia* Lepeletier 1836 (Apidae, Meliponini) e efeitos de doses subletais de glifosato na morfologia**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, Brasil.
- Silva, P. N. (2015). **Fauna de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) em áreas de plantio de tomateiro e o seu papel na polinização**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil. <https://locus.ufv.br/handle/123456789/8355>
- Sousa Prado, I., Alves da Rocha, A., Alves Silva, L., & Cunha Gonzalez, V. (2022). Glyphosate affects *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) (Hymenoptera: Apidae) worker's locomotion, behavior and biology. **Ecotoxicology**. <https://doi.org/10.21203/RS.3.RS-2129592/V1>
- Souza, F. C. de. (2022). **Avaliação da interação polinizador-agrotóxico por meio da toxicidade do Tiametoxam em *Frieseomelitta varia* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera, Apidae, Meliponini)**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Rio Claro, SP, Brasil. <https://doi.org/10.17616/R31N39>.
- Souza, G. C. (2021). **Efeitos de herbicidas na sobrevivência e comportamento de *scaptotrigona aff. Xanthotricha* (apidae, meliponini)**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, PA, Brasil. <https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/handle/123456789/566>
- Straw, E. A., Carpentier, E. N., & Brown, M. J. F. (2021). Roundup causes high levels of mortality following contact exposure in bumble bees. **Journal of Applied Ecology**, 58(6), 1167–1176. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13867>
- Tomé, H. V. V., Ramos, G. S., Araújo, M. F., Santana, W. C., Santos, G. R., Guedes, R. N. C., Maciel, C. D., Newland, P. L., & Oliveira, E. E. (2016). Agrochemical synergism imposes higher risk to Neotropical bees than to honeybees. **Royal Society Open Science**, 4(1). <https://doi.org/10.1098/RSOS.160866>
- Valdovinos-Neuñz, G. R., Quezada-Euan, J. J. G., Ancona-Xiu, P., Moo-Valle, H., Carmona, A., & Sánchez, E. R. (2009). Comparative Toxicity of Pesticides to Stingless Bees (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). **Journal of Economic Entomology**, 102(5), 1737–1742. <https://doi.org/10.1603/029.102.0502>
- Wolowski, M. et al. (2019). Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil. **BPBES - Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**, 1a ed., 0-93.