

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
MÔNICA GONÇALVES DE SOUSA

O PAPEL DAS ABELHAS *APIS MELLIFERA* COMO BIOINDICADORES
AMBIENTAIS: Uma revisão

CERES – GO
2025

MÔNICA GONÇALVES DE SOUSA

**O PAPEL DAS ABELHAS *APIS MELLIFERA* COMO BIOINDICADORES
AMBIENTAIS: Uma revisão**

Trabalho de curso apresentado ao curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Ciências Biológicas, sob orientação do Prof. Dra. Patrícia Faquinello.

**CERES – GO
2025**

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

G635 Gonçalves de Sousa, Mônica
 O papel das abelhas *Apis mellifera* como bioindicadores
 ambientais / Mônica Gonçalves de Sousa. Ceres 2025.

 27f. il.

 Orientadora: Prof^ª. Dra. Patricia Faquinello.
 Tcc (Licenciado) - Instituto Federal Goiano, curso de 0322051 -
 Licenciatura em Ciências Biológicas - Ceres (Campus Ceres).
 I. Título.



INSTITUTO FEDERAL
Goiano

Goiano

Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF

Sistema Integrado de Bibliotecas

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES
TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC – Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional | - Tipo: |

Nome Completo do Autor: Mônica Gonçalves de Sousa

Matrícula: 2018103220530348

Título do Trabalho: O papel das abelhas Apis mellifera como bioindicadores ambientais

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: ☐ Não ☐ Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 23 / 10 / 2025

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☐ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente

gov.br

MÔNICA GONÇALVES DE SOUSA
Data: 22/10/2025 18:56:46-0908
Verifique em: <https://verificador.riif.gov.br>

____ Ceres _____, 23 / 10 / 2025 ____
Local Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Patrícia Jaquinelto

Assinatura do(a) orientador(a)

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

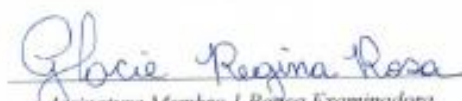
Ao(s) 08 dia(s) do mês de OUTUBRO do ano de dois mil e 25,
realizou-se a defesa de Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a) MÔNICA GONÇALVES
DE SOUSA, do Curso de LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS,
matricula _____, cujo título é "O PAPEL DAS ABELHAS COMO
BIOINDICADORES AMBIENTAIS: UMA REVISÃO".

A defesa iniciou-se às 15 horas e 06 minutos, finalizando-se às 15 horas e 27 minutos. A banca examinadora considerou o trabalho APROVADO com média 6,3 no trabalho escrito, média no trabalho oral, apresentando assim média aritmética final 7,2 de pontos, estando o(a) estudante APROVADO para fins de conclusão do Trabalho de Curso.

Após atender às considerações da banca e respeitando o prazo disposto em calendário acadêmico, o(a) estudante deverá fazer a submissão da versão corrigida em formato digital (.pdf) no Repositório Institucional do IF Goiano – RIIF, acompanhado do Termo Ciência e Autorização Eletrônico (TCAE), devidamente assinado pelo autor e orientador.

Os integrantes da banca examinadora assinam a presente.


Assinatura Presidente da Banca


Assinatura Membro 1 Banca Examinadora


Assinatura Membro 2 Banca Examinadora

Dedico este trabalho a todos que contribuíram para a sua realização, especialmente ao meu pai, Gaspar Gonçalves Graces, que infelizmente nos deixou a três anos atrás. Sua inspiração e apoio sempre serão lembrados. Dedico também aos meus filhos Gael e Esther que me deu a força necessária para prosseguir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente ao apoio e incentivo da minha estimada professora orientadora, cuja orientação foi fundamental para a conclusão deste trabalho. Também expresso minha gratidão aos colegas, amigos e familiares que me apoiaram ao longo deste processo, para a realização deste trabalho.

À minha querida família, expresso meus profundos agradecimentos. Agradeço especialmente à minha mãe, irmã, meu pai e meus filhos por seu amor incondicional, apoio constante e compreensão durante os desafios enfrentados durante a realização deste trabalho. Suas palavras de encorajamento e apoio foram uma fonte constante de inspiração para mim.

*“Onde há abelhas, há flores, e onde há flores, há
uma nova vida e esperança”.*

Christy Lefteri

RESUMO

Este trabalho aborda o papel das abelhas *Apis mellifera* como bioindicadores ambientais, por meio de uma revisão e levantamento bibliográfico. O objetivo foi avaliar a eficácia dessas abelhas na detecção de poluentes em diferentes contextos ambientais. O método utilizado consistiu em um levantamento e análise de estudos científicos publicados entre 2010 e 2024, obtidos em bases de dados como Google Scholar, SciELO e PubMed, que investigaram a capacidade das abelhas em acumular e indicar a presença de diversos contaminantes, especialmente agrotóxicos e metais pesados. A revisão abrangeu pesquisas realizadas em várias regiões e contextos ambientais, destacando a sensibilidade das abelhas a alterações na qualidade do ambiente. Os resultados revelam que as abelhas são excelentes bioindicadores, fornecendo dados precisos e confiáveis sobre a presença de poluentes, devido à sua ampla área de forrageamento e ao acúmulo de substâncias tóxicas em seus corpos e produtos apícolas. Conclui-se que a utilização de abelhas como bioindicadores é uma abordagem eficiente e econômica para o monitoramento ambiental. Este trabalho ressalta a necessidade e importância de políticas públicas que incentivem a redução do uso de agrotóxicos e a proteção dos habitats das abelhas, além de promover a conscientização pública sobre a importância desses insetos para a detecção de poluentes, a saúde ambiental e a promoção da sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Bioindicadores. Abelhas. Poluição Ambiental. Monitoramento. Sustentabilidade.

ABSTRACT

This work addresses the role of *Apis mellifera* as an environmental bioindicator through a literature review and bibliographic survey. The objective is to evaluate the effectiveness of these bees in detecting pollutants in different environmental contexts. The method consisted of a review and analysis of scientific studies published between 2010 and 2024, obtained from databases such as Google Scholar, SciELO, and PubMed, which investigated the ability of bees to accumulate and indicate the presence of various contaminants, especially pesticides and heavy metals. The review covered research conducted in different regions and environmental contexts, highlighting the sensitivity of bees to changes in environmental quality. The results reveal that bees are excellent bioindicators, providing accurate and reliable data on the presence of pollutants due to their wide foraging area and the accumulation of toxic substances in their bodies and bee products. It is concluded that the use of bees as bioindicators is an efficient and economical approach to environmental monitoring. This work emphasizes the need and importance of public policies that encourage the reduction of pesticide use and the protection of bee habitats, as well as promoting public awareness of the importance of these insects for pollutant detection, environmental health, and the promotion of sustainability.

Keywords: Bioindicators. Bees. Environment Pollution. Monitoring. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ilustração dos setores ambientais explorados pelas abelhas	11
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos grupos de bioindicadores e suas principais características.....06

Tabela 2 – Classificação dos agrotóxicos conforme seu potencial de perigo ao ambiente e toxicidade 13

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	03
2.1 OBJETIVO GERAL	03
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	03
3. METODOLOGIA	03
4. DESENVOLVIMENTO	04
4.1 A IMPORTÂNCIA E UTILIZAÇÃO DOS BIOINDICADORES AMBIENTAIS	04
4.2 IMPORTÂNCIA DAS ABELHAS COMO BIOINDICADORES AMBIENTAIS	08
4.3 EFEITOS DOS AGROTÓXICOS	12
4.4 RELAÇÃO DOS AGROTÓXICOS SOBRE AS ABELHAS	14
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	17
6. REFERÊNCIAS	19

1. INTRODUÇÃO

As abelhas desempenham um papel essencial nos ecossistemas terrestres, agindo como polinizadores fundamentais para uma vasta gama de plantas. Sua importância econômica e ecológica se destaca pelos benefícios globais da polinização, que incluem não apenas a produção de alimentos, mas também a manutenção da diversidade vegetal e a estabilidade dos ecossistemas (SILVA, 2012).

A coevolução entre abelhas e angiospermas ao longo do tempo evidencia a interdependência entre esses grupos e a importância dos serviços ecossistêmicos prestados pelas abelhas na polinização das plantas (DEL-CLARO; TOREZAN-SILINGARDI, 2012). Além disso, as abelhas nativas do Brasil desempenham um papel fundamental na polinização de espécies vegetais nativas e endêmicas do país, ressaltando sua relevância para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (ROEL et al., 2019).

Utilizando as abelhas como criação racional, por meio da apicultura, em diversas regiões do Brasil – com destaque para estados como Minas Gerais, Goiás, Bahia e Rio Grande do Sul - é a principal fonte de renda familiar, tanto para cidadãos rurais quanto urbanos, tornando-se uma atividade rentável e significativa para a sustentabilidade econômica e ambiental (BRASIL APÍCOLA, 2008). Porém, esse cenário é ameaçado pelo declínio das abelhas melíferas (*Apis mellifera* L.), e das populações de polinizadores, sido observado em diversas partes do mundo, colocando em risco não apenas a biodiversidade, mas também a segurança alimentar e a saúde dos ecossistemas (KEVAN e IMPERATRIZ-FONSECA, 2002).

O colapso das colônias de abelhas *Apis mellifera*, associado a grandes mortalidades em várias partes do planeta, alerta para a urgência de medidas de proteção e conservação desses insetos cruciais para os ecossistemas (WOLFF, 2008).

Segundo Araújo (2012) a degradação ambiental, causada principalmente pelas atividades humanas, tem intensificado os danos aos ecossistemas. A poluição, resultante do despejo contínuo de produtos químicos, tem crescido consideravelmente nas últimas décadas, afetando não apenas a saúde dos seres vivos, mas também a qualidade do ar, da água e dos solos. Nesse contexto, a bioindicação emerge como

uma ferramenta valiosa para avaliar a contaminação ambiental, utilizando organismos sensíveis e dependentes de fatores ambientais alterados.

Segundo Gill (2012) a crescente demanda por alimentos, a intensificação das práticas agrícolas e o uso indiscriminado de agrotóxicos sintéticos tem contribuído significativamente para o declínio das populações de abelhas, comprometendo assim a segurança alimentar e a saúde dos ecossistemas. Os agrotóxicos sintéticos são substâncias químicas produzidas artificialmente em laboratório, formuladas a partir de compostos orgânicos e inorgânicos, com o objetivo de eliminar, controlar ou repelir organismos considerados pragas agrícolas. Embora eficazes no aumento da produtividade, esses produtos apresentam alta toxicidade e persistência no ambiente, podendo contaminar o solo, a água, o ar e afetar organismos não alvo, como as abelhas e outros polinizadores.

Nesse contexto, os agrotóxicos biológicos surgem como uma alternativa mais sustentável, sendo produtos obtidos a partir de microrganismos, extratos vegetais ou substâncias naturais que auxiliam no controle de pragas, reduzindo os efeitos negativos sobre os polinizadores e promovendo a conservação da biodiversidade. Esse tipo de controle, conhecido como controle biológico, utiliza fungos, bactérias ou vírus que atacam as pragas agrícolas, reduzindo a contaminação ambiental (REGO, 2022).

Conforme mencionado por Wink et al. (2005), as abelhas se destacam como insetos bioindicadores devido à sua alta abundância, ampla distribuição geográfica e sensibilidade às perturbações ambientais. Nesse sentido, as abelhas *Apis mellifera* têm a capacidade de absorver poluentes de várias fontes ambientais, como solo, néctar e água, as tornando potencialmente valiosas e úteis para a detecção e monitoramento da poluição ambiental em diferentes níveis (DAVODPOUR et al., 2019).

Tendo em vista a relevância das abelhas para o ecossistema como um todo, esta revisão visa contribuir para uma melhor compreensão da importância das abelhas como bioindicadores ambientais por meio de uma revisão abrangente da literatura científica. Dessa forma espera-se servir de auxílio para o desenvolvimento de estratégias eficazes de conservação e manejo desses insetos vitais para os ecossistemas terrestres.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar o papel das abelhas *Apis mellifera* como bioindicadores ambientais, a partir de uma revisão bibliográfica, visando compreender sua eficácia na detecção de poluentes e na avaliação da qualidade ambiental em diferentes ecossistemas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar as principais características que tornam as abelhas eficientes bioindicadoras da poluição ambiental;
- Identificar os tipos de contaminantes mais frequentemente detectados por meio do biomonitoramento com abelhas, como agrotóxicos e metais pesados;
- Compreender os impactos dos agrotóxicos sintéticos sobre as populações de abelhas e os ecossistemas;
- Avaliar estudos que utilizam produtos apícolas (mel, pólen e cera) como indicadores de poluição;
- Discutir a importância do uso das abelhas no monitoramento ambiental e na formulação de políticas públicas voltadas à conservação e sustentabilidade.

3. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consistiu em uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo, baseada em publicações científicas disponíveis em bases de dados como Google Scholar, SciELO, Science Direct e PubMed. Foram utilizadas as palavras-chave: “bioindicadores ambientais”, “abelhas”, “*Apis mellifera*”, “poluição”, “monitoramento ambiental” e “agrotóxicos”, tanto isoladamente quanto em combinações.

O recorte temporal adotado foi de 2010 a 2024, com o objetivo de reunir estudos recentes sobre o tema. Foram incluídos artigos científicos, dissertações, livros e relatórios técnicos que abordam as abelhas como bioindicadores e discutem sua relação com contaminantes ambientais, especialmente metais pesados e pesticidas.

Excluíram-se trabalhos que tratavam apenas de aspectos produtivos da apicultura, sem relação direta com a bioindicação.

Após a seleção, as obras foram lidas e analisadas de forma crítica, buscando identificar padrões e resultados recorrentes sobre a eficácia das abelhas na detecção de poluentes e sua relevância ecológica.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1 A IMPORTÂNCIA E UTILIZAÇÃO DOS BIOINDICADORES AMBIENTAIS

Os bioindicadores são ferramentas essenciais na avaliação de impactos ambientais, sendo muito utilizados na perícia ambiental, consistindo em espécies, grupos ou comunidades da qual presença, abundância, distribuição e características morfológicas retratam mudanças negativas no ambiente, distinguindo-se dos padrões normais do ecossistema (CALLISTO et al., 2004). Dessa forma, conhecer os principais tipos e diferenças dos bioindicadores e suas aplicações, principalmente na área da perícia, é crucial para garantir a confiabilidade dos laudos técnicos, garantindo a justiça para as partes envolvidas em casos de processos ambientais.

Desde o desequilíbrio provocado por agentes estressores nos ambientes, torna-se necessário avaliar, diagnosticar e planejar ações para responsabilizar os responsáveis pelos danos e desenvolver projetos de recuperação ambiental (MATSUURA, 2000). A diversidade de substâncias químicas tóxicas derivadas de atividades humanas, como por exemplo, resíduos industriais, urbanos e agrícolas, podem causar danos ambientais significativos (CETESB, 2014). Assim, peritos ambientais utilizam bioindicadores como instrumento para apurar evidências de tais impactos ambientais nos sistemas biológicos.

A exposição a agentes químicos através do ar, água e alimentos representa uma fonte significativa de contaminação para humanos e para o meio ambiente. A avaliação dessa exposição é crucial para prevenir ou minimizar doenças e impactos ambientais (GRANDJEAN, 1995). Já o estudo dos efeitos dessas substâncias permite avaliar riscos e estabelecer normas ambientais para contaminantes específicos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2000). A bioindicação não apenas revela a

existência ou intensidade de um estressor ambiental, mas também a resposta biológica e seus efeitos no ambiente afetado (DE PAULA, 2010).

Os bioindicadores correlacionam os fatores antrópicos ou naturais com potenciais impactos ambientais, sendo úteis na avaliação da qualidade de uma área (CALLISTO et al., 2004). A escolha e validação desses bioindicadores requerem cuidado com a especificidade e sensibilidade dos seres vivos, além de medir a exposição e observar os efeitos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1993). Eles são mais econômicos que métodos convencionais e podem recuperar um histórico ambiental que outros métodos não conseguem detectar (CETESB, 2014).

Um indicador ambiental fornece informações valiosas sobre um período de tempo específico, auxiliando na observação, avaliação e resolução de questões ambientais (GOMES, 2011). Assim, bioindicadores são ferramentas previsíveis que medem, comparam e determinam ações com base em eventos ou tendências ambientais (LOPES, 2008).

Os efeitos dos agentes contaminantes variam de acordo com o nível biológico dos bioindicadores, desde respostas bioquímicas, celulares e moleculares até reações em níveis de tecido, órgão, sistema, organismo, população, comunidade e ecossistema (ARIAS et al., 2007). Com isso, a escolha de um bioindicador baseia-se em sua sensibilidade e tolerância a certos poluentes. As espécies que compõem as condições ambientais durante todo o ciclo vital são eficazes em detectar poluição aguda ou contínua (BUSS et al., 2003).

A resposta dos organismos aos estressores ambientais é tocada por condições físicas, químicas e biológicas do ambiente e por fatores fisiológicos, morfológicos e nutricionais. Desta forma, os bioindicadores podem acumular substâncias como resposta a desequilíbrios ambientais derivados de agentes contaminantes (BAGLIANO, 2012). Dessa maneira, quando um bioindicador apresenta uma alteração significativa em relação ao comportamento normal, é considerado sensível ao agente impactante. Todavia, se acumula influências naturais sem danos reconhecíveis a curto prazo, é designado acumulativo (LIMA, 2000).

Existem várias classificações de bioindicadores baseadas em diversas características como sensibilidade, potencial acumulativo e função na perícia ambiental (LIMA, 2000; LOUZADA et al., 2000; DE PAULA, 2010). Eles podem ser representados por medidas de fluidos corporais, células, tecidos ou mensurações em

um organismo completo, indicando a presença de contaminantes ou respostas a impactos (ARIAS et al., 2007).

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) define bioindicadores como seres vivos usados para avaliar a qualidade ambiental de um local. Podem ser utilizados de forma passiva, avaliando os seres que habitam a área de estudo, ou ativa, expondo espécies preparadas para análises específicas (CETESB, 2014).

A classificação dos bioindicadores pode ser baseada em suas principais funções na perícia ambiental, considerando as características biológicas e ecológicas das espécies utilizadas, bem como a forma como elas respondem às alterações do meio (BARBOSA, 2013). A Tabela 1 apresenta os principais grupos bioindicadores, suas características e exemplos específicos de espécies utilizadas em estudos ambientais.

Tabela 1: Descrição dos grupos de bioindicadores e suas principais características.

Grupo Bioindicador	Característica das Espécies	Exemplos
Sentinelas	Introduzidos para indicar níveis de degradação e prever ameaças ao ecossistema.	Peixes em rios poluídos; abelhas expostas a metais pesados e aves urbanas expostas à fumaça industrial.
Detectores	Espécies locais que respondem a mudanças ambientais de forma mensurável.	Liquens, musgos e macroinvertebrados aquáticos usados para avaliar poluição atmosférica.
Exploradores	Reagem positivamente a perturbações ambientais causadas pelos agentes agressores.	Insetos decompositores, algumas formigas e baratas em áreas degradadas.
Acumuladores	Permitem a verificação de bioacumulação de substâncias poluentes em seus tecidos.	Moluscos bivalves, peixes, minhocas e abelhas em ambientes contaminados.

Sensíveis	Modificam acentuadamente o comportamento sob os efeitos dos agentes agressores.	Anfíbios e insetos polinizadores em áreas agrícolas.
-----------	---	--

Fonte: Adaptado de Vieira et al. (2014).

Aproximadamente todos os grupos de seres vivos podem atuar como bioindicadores, mas os invertebrados, são ideais devido à sua facilidade de amostragem e eficácia (HANASHIRO et al., 2012; BARBOSA, 2013).

A escolha de bioindicadores baseia-se em características como fácil amostragem, sensibilidade a variações ambientais, segurança na manipulação, adaptação ao ecossistema, fácil identificação taxonômica, distribuição cosmopolita, baixa variabilidade genética e ecológica, entre outros (RODRIGUES, 2011). Com o biomonitoramento, é possível identificar poluentes locais e avaliar seus efeitos, mesmo quando as concentrações estão próximas dos limites aceitáveis (BUSS et al., 2003).

A bioindicação avalia a contaminação ambiental como um registro sensível a fatores ambientais alterados antropogenicamente. Ao mesmo tempo, a presença de populações bioindicadoras reflete a saúde do ambiente (MILONE et al., 2021; DAVODPOUR et al., 2019).

Muitos métodos clássicos de monitoramento exigem equipamentos caros ou cobrem áreas pequenas. Assim, diferentes espécies de plantas foram inicialmente propostas como bioindicadores, mas plantas só mensuram as proximidades. Recentemente, várias espécies de animais foram consideradas bioindicadores, como abelhas *Apis mellifera* sendo particularmente úteis devido ao seu comportamento de forrageamento e capacidade de absorver poluentes de todas as repartições ambientais (DAVODPOUR et al., 2019).

Diversos invertebrados têm sido utilizados como bioindicadores de transformações ambientais, agrupados em categorias como indicadores ambientais, ecológicos e de biodiversidade (HELLAWELL, 1986; PAOLETTI & BRESSAN, 1996).

Programas de monitoramento ambiental com bioindicadores estão em desenvolvimento em vários países, fornecendo informações essenciais para liberar recursos financeiros e garantir a qualidade ambiental (COHEN, 2003; NIEMI &

MCDONALD, 2004). Porém a efetivação do uso de bioindicadores ainda requer estudos adicionais, políticas e legislações adequadas (HELLAWELL, 1991).

O uso de organismos para monitorar condições ambientais se desenvolveu em diversos setores, como pássaros para monitorar condições de ar em minas, bioindicadores aquáticos para qualidade da água e invertebrados terrestres (WINNER et al., 1980; HELLAWELL, 1986; DOBSON, 2005).

Esses avanços destacam a importância dos bioindicadores como ferramentas na avaliação e monitoramento ambiental, ajudando a proteger e conservar os ecossistemas.

4.2 IMPORTÂNCIA DAS ABELHAS COMO BIOINDICADORES AMBIENTAIS

Com o aumento substancial do uso de agrotóxicos no Brasil e ao redor do mundo, a precisão de monitorar a presença dessas substâncias tóxicas no ambiente tornou-se essencial. Ainda que a atmosfera seja a maior repartição ambiental, a contaminação do ar por agrotóxicos é menos atestada do que a apresentação desses contaminantes na água e nos alimentos, um pouco cabido às reduzidas concentrações encontradas e à falta de leis específicas (PAPA et al., 2025).

No decorrer e depois da utilização, os agrotóxicos podem entrar na atmosfera pela atividade do vento que transfere partículas impregnadas com essas substâncias. Devido à sua imensa locomobilidade, o ar pode carregar esses contaminantes para ecossistemas aquáticos e terrestres afastados do ponto de aplicação, contaminando o ambiente de maneira ampla (DE ROSSI et al., 2010).

Os bioindicadores são seres vivos empregados para obter informações sobre certas características do ambiente. As vantagens primordiais do biomonitoramento estão relacionadas ao comparecimento constante e comum do indivíduo no campo e à facilidade de coleta. Contudo, a escolha de uma espécie adequada como bioindicadora é crucial para garantir a eficácia do biomonitoramento (WOLTERBEEK, 2002).

As abelhas *Apis mellifera* são insetos pertencentes a filo dos artrópodes, que interagem diretamente com a natureza, polinizando espécies de plantas ornamentais ou de agricultura e espécies nativas, essenciais para a produção de mel e outros itens apícolas. As a abelhas coletam diversos produtos, como néctar, pólen e água,

essenciais para a sobrevivência de sua colônia, fornecendo macromoléculas importantes para o fornecimento de energia (RISSATO et al., 2004).

Cotidianamente, milhares de abelhas operárias por colmeia realizam viagens explorando áreas ao redor de seu habitat. No decorrer desse processo, diversos microrganismos, produtos químicos e partículas suspensas no ar são recolhidos, podendo ficar presos nos pelos da superfície de seu corpo, serem aspirados pelas abelhas ou acondicionados em sua vesícula melífera e transferidos para a colmeia (RISSATO et al., 2004).

Em razão dessa atuação, o uso desses insetos como bioindicadores da poluição ambiental tem sido amplamente estudado ultimamente. Variados estudos na literatura evidenciam o uso de produtos apícolas como mel, cera, pólen ou as próprias abelhas, ofertando informações importantes sobre a presença de substâncias contaminantes como metais pesados, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e pesticidas no ambiente (REIS, 2003; CHAUZAT et al., 2006).

A frequência de contaminadores no exterior e no interior de seus corpos oferece conhecimentos sobre a contaminação local, enquanto o mel e outros itens apícolas podem ser empregados para adquirir uma média em relação a uma área extensa, pois provêm de coletas de diferentes locais e em diversos dias (PORRINI et al., 2003).

Para avaliar o uso dos itens apícolas como bioindicadores de alteração ambiental por agrotóxicos, variados estudos têm sido realizados para determinar o grau de contágio das colmeias por pesticidas, assim como a acumulação e distribuição desses elementos nas diferentes repartições das colmeias relacionadas ao seu ambiente e tempo de exposição (HALM et al., 2006; CHAUZAT et al., 2006).

Com o avanço tecnológico e o desenvolvimento demográfico global, houve um aumento das atividades relacionadas a agricultura, pecuária, indústria, extrativismo mineral e crescimentos dos grandes centros urbanos, resultando em um aumento relevante dos níveis de substâncias tóxicas no ambiente (SANCHEZ, 2008).

Segundo Sanchez (2008) cidades grandes geralmente ofertam situações desvantajosas para uma qualidade de vida sustentável, devido ao contexto diário enfrentado pelos cidadãos, como trânsito caótico, necessidade de percorrer grandes distância, falta de tempo, rios, solos e ar poluídos por resíduos sólidos domésticos e industriais, falta de saneamento básico, queimadas urbanas e outros problemas

relacionados, causando grande impacto de forma negativa na vida da população ali residente.

O uso de organismos vivos para indicar certas condições ambientais tem sido observado com frequência ao longo da história. Mas, para um indivíduo ser um bom bioindicador, ele necessita ser vastamente conhecido e conseguir distinguir estresse causado por atividades humanas de oscilações naturais (MOFFATT; MCLACHLAN, 2004; MENDOZA; PRABHU, 2004).

Os insetos, pertencentes a filo dos artrópodes e ao reino animal, são reconhecidos como seres imensamente valiosos nos ecossistemas terrestres e aquáticos. Segundo Thomanzini e Thomanzini (2002), o processo de ação do ser humano sobre o meio ambiente, diminui o número de espécies desses animais, favorecendo o reconhecimento de forma ágil e determinando o grau do impacto ambiental. No meio deste filo, as abelhas *Apis mellifera* possuem vasta capacidade para vistoriar as situações ambientais de um território, devido vários fatores, principalmente à sua extensa habilidade de dispersão e características morfológicas, como por exemplo, a presença de pelos pelo seu corpo, promovendo o rastreamento de diferentes substâncias distribuídas na atmosfera. Assim, as abelhas são espécies com incríveis particularidades para o biomonitoramento ambiental, ofertando referências de maneira especificada sobre as substâncias tóxicas presentes no ambiente estudado (HOFFEL et al., 1983; TONG et al., 1975).

Outrossim, as substâncias tóxicas contaminantes ficam presentes no próprio corpo das abelhas, tanto no seu interior quanto no seu exterior, e podem também se acumular em seus frutos apícolas, como o mel, transformando dessa forma esses organismos um dos mais competentes e propícios para o monitoramento ambiental (BROMENSHENK et al., 1996).

Os resultados apícolas são produtos originados de forma natural, mas isso não os deixam isentos de contaminação. Pois, podem ser elaborados em ambientes com condições desfavoráveis, sendo suscetível a variáveis origens de contaminação (POHL et al., 2009). As abelhas operárias realizam viagens para conhecimento e investigação no seu habitat e ao seu redor, percorrendo grandes distâncias, recolhendo diversos itens necessários à sua sobrevivência, como água, néctar e grãos de pólen. Sendo assim, as abelhas exploram todos os âmbitos ambientais, como superfície terrestre, cobertura vegetal, água e atmosfera, sendo suscetíveis a

contaminações ambientais (Figura 1). Ao decorrer deste processo de viagem exploratória, diversos microrganismos, produtos químicos e partículas interruptas no ar são capturadas pelos organismos, ficando presas na superfície de seu corpo, sendo aspiradas para seu interior ou ingeridos por elas (MAIR et al, 2023).

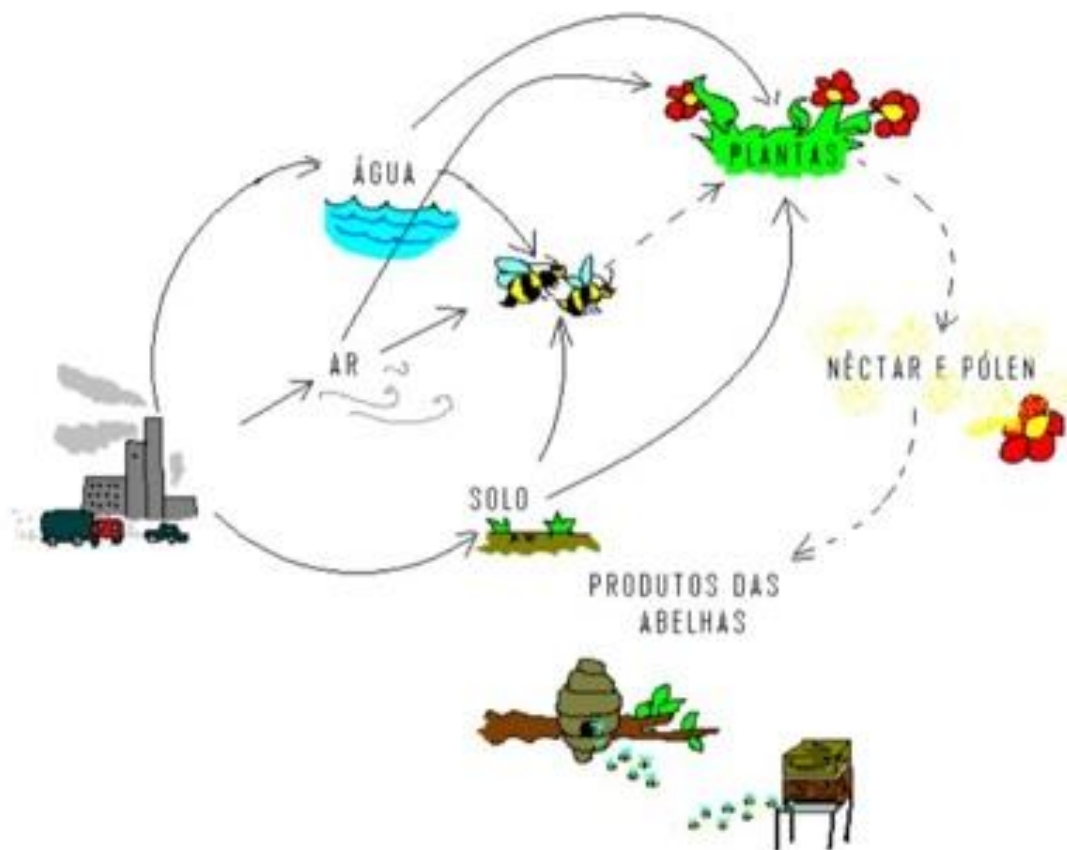


Figura 1 – Ilustração dos setores ambientais explorados pelas abelhas.

Fonte: Adaptado de Pohl (2009).

A Figura 1 representa os principais ambientes visitados pelas abelhas durante suas atividades de forrageamento, como o solo, a vegetação, a água e a atmosfera. Esses setores são percorridos pelas abelhas em busca de recursos essenciais, como néctar, pólen e água, o que as expõe diretamente a diferentes fontes de contaminação. Assim, a imagem demonstra de forma visual como as abelhas interagem com múltiplos compartimentos ambientais e, por isso, funcionam como excelentes bioindicadores da qualidade ambiental.

As abelhas (*Apis mellifera*), ao recolherem água, néctar e pólen de várias fontes, acabam servindo como um filtro ambiental. Ao fazerem isso, elas carregam

consigo partículas do ambiente, incluindo agentes contaminantes, que são posteriormente analisados para verificar os níveis de contaminação na área de coleta (Figura 1). Devido à sua grande capacidade de dispersão e ao contato direto com diferentes componentes ambientais, as abelhas se tornam eficientes bioindicadores (WOLF; REIS; SANTOS, 2008).

Ao utilizar abelhas como bioindicadores, os pesquisadores conseguem mapear a presença ou ausência e a concentração desses contaminantes em diferentes regiões visitadas pelas abelhas, identificando as áreas consideradas de risco e as fontes principais e potenciais de contaminação. Isso é extremamente útil e importante, tanto em áreas urbanas, quanto em áreas industriais, onde a poluição pode ser mais significativa e concentrada devido às atividades humanas intensivas (ALBERO et al., 2005).

Diversos estudos de caso demonstram a eficácia das abelhas como bioindicadores. Em uma pesquisa realizada na Itália, por exemplo, foi possível identificar concentrações elevadas de chumbo e cádmio em abelhas coletadas próximas a áreas industriais, evidenciando a poluição atmosférica por esses metais (BROMENSHENK et al., 1996).

Na França, um estudo similar utilizou abelhas para monitorar a presença de mercúrio em áreas urbanas e rurais. Os resultados indicaram níveis significativamente mais altos de mercúrio nas abelhas coletadas em áreas urbanas, correlacionando a contaminação com o tráfego veicular e emissões industriais (CHAUZAT et al., 2006).

No Brasil, uma pesquisa conduzida em regiões agrícolas detectou resíduos de pesticidas e metais pesados em abelhas e produtos apícolas, alertando para os riscos associados ao uso intensivo de agrotóxicos e à contaminação do solo e da água (RISSATO et al., 2004).

Esses estudos exemplificam a aplicabilidade das abelhas como bioindicadores em diferentes contextos geográficos e ambientais, demonstrando sua importância na detecção precoce de contaminantes e na proteção da saúde ambiental e pública.

4.3 EFEITOS DOS AGROTÓXICOS

Com o aumento populacional global aumenta-se a necessidade por alimentos, exigindo a intensificação das atividades relacionadas a agricultura, como a plantação,

o deslocamento, o armazenamento e o tratamento de gêneros agrícolas. Para aumentar a produtividade, é comum o uso extensivo de agrotóxicos no tratamento prévio das sementes, durante o cultivo ou após a colheita.

De acordo com a legislação brasileira (Lei n° 7.802/1989), os agrotóxicos são definidos como resultado e autores de procedimentos físicos, químicos ou biológicos, concedidos a utilização no cultivo, estocagem e processamento de produtos agrícolas, seja em pastagens, em florestas, em culturas agrícolas ou em outros ecossistemas, como urbanos, aquáticos e industriais. O objetivo da utilização desses produtos químicos é modificar a constituição das espécies vegetais ou animais daquele ambiente ou fauna, com o intuito de defendê-las da atividade negativa de organismos vistos como maléficos, como é o caso de algumas espécies de fungos, bactérias, vírus e protozoários. Incluem-se também substâncias de produtos químicas utilizadas na desfolha artificial da planta, na absorção da umidade do ambiente, impulsionadores e controladores de crescimento (BRASIL, 1989).

O *Codex Alimentarius* (1998) define o agrotóxico como um elemento aplicado para precaver, eliminar, atacar, barrar ou conter organismos denominados como pragas, incluindo espécies invasoras durante o cultivo, armazenamento, deslocamento, fornecimento ou tratamento de alimentos, cereais e ração animal, ou substância denominada como remédio aplicada a animais para controlar parasitas externos como carrapatos, pulgas, ácaros, piolhos e moscas.

Para Peres (2003), conforme a utilização dos agrotóxicos, esses produtos químicos podem ser classificados como praguicidas, biocidas, venenos, fitossanitários, defensivos agrícolas ou remédios. Porém, para os agricultores, esses produtos são frequentemente denominados de "veneno", em virtude as decorrências danosas à saúde humana, animal e ambiental.

Os agrotóxicos variam quanto ao modo de ação, absorção, metabolismo e toxicidade e podem ser classificados de diversas maneiras (SAVOY, 2011). A Tabela 2 apresenta a classificação dos agrotóxicos com base em seu potencial de perigo ao meio ambiente e grau de toxidade.

A Tabela 2 demonstra que os agrotóxicos são classificados em quatro níveis de perigo ambiental, variando de "altamente perigoso" a "pouco perigoso". Essa classificação é importante porque auxilia na avaliação do impacto ambiental causado pelo uso dessas substâncias e orienta as práticas de manejo e controle durante a

aplicação agrícola. Produtos classificados nas classes I e II exigem maior controle e fiscalização, pois representam risco elevado de bioacumulação e contaminação de ecossistemas, podendo afetar diretamente as abelhas e outros bioindicadores ambientais.

Tabela 2 – Classificação dos agrotóxicos conforme seu potencial de perigo ao ambiente e toxicidade.

I – PRODUTO ALTAMENTE PERIGOSO AO MEIO AMBIENTE
II – PRODUTO MUITO PERIGOSO AO MEIO AMBIENTE
III – PRODUTO PERIGOSO AO MEIO AMBIENTE
IV – PRODUTO POUCO PERIGOSO AO MEIO AMBIENTE

Fonte: Alves (2014).

Carneiro (2017) indica que os agrotóxicos são divididos ainda como inseticidas (matar insetos), herbicidas (controlar ervas daninhas), fungicidas (prevenir infecção por fungos fitopatogênicos), raticidas (exterminar ratos e roedores em geral), formicidas (combater formigas), larvicidas (eliminar larvas), ovicidas (matar ovos) e acaricidas (controlar ácaros); e conforme a maneira de atividade e introdução, como sistêmicos (transferidos pela seiva da planta em medida fatal para o inseto) e não sistêmicos; além de orgânicos e inorgânicos.

Segundo Martinelli (2003), entre as classificações mais utilizadas estão os inseticidas, os fungicidas e os herbicidas.

Embora os agrotóxicos ofereçam benefícios significativos para a agricultura, como controle de espécies consideradas pragas, o aumento da produção e a redução dos custos do cultivo, o uso contínuo, de forma irregular e indiscriminada desses produtos químicos traz sérios riscos à saúde humana, animal e ao meio ambiente, através da contaminação ambiental apresentados nos recursos utilizados tanto pelos seres humanos quanto pelos animais, como é o exemplo da água e dos alimentos consumidos, assim como o ar aspirado (VEIGA, 2007).

4.4. RELAÇÃO DOS AGROTÓXICOS SOBRE AS ABELHAS

A utilização desordenada dos agrotóxicos tem levado a consequências ambientais graves, como a extinção de insetos importantes para o equilíbrio ecológico e o surgimento de novas pragas (FERNANDEZ et al., 2001). Diversas espécies de

insetos desenvolveram resistência a certos inseticidas, demandando novos inseticidas mais seletivos ou doses maiores do que as já utilizadas, tendo assim um efeito mais nocivo, não somente ao inseto a ser combatido, mas trazendo também prejuízos à saúde humana e animal, de forma direta ou indireta (TOMITA e BEYRUTH, 2002).

As abelhas, por exemplo, não são alvo direto dos agrotóxicos, mas são extremamente sensíveis à contaminação dessas substâncias químicas por fazerem viagens exploratórias em longas distâncias, principalmente em áreas agrícolas, em busca de coletarem os recursos florais como pólen, néctar e água, que são fundamentais para sua sobrevivência e de sua colmeia. (KOIFMAN et al., 2003).

A exposição das abelhas aos agrotóxicos pode resultar em toxicidade aguda, onde esses insetos falecem de forma rápida logo depois da utilização da substância, ou em efeitos subletais que atrapalham seu comportamento de viagens exploratórias, causando desorientação e dificuldade para retornar a colmeia (WILLIAMSON e WRIGHT, 2013). Isso também pode afetar o desenvolvimento da colmeia, reduzir a qualidade dos itens apícolas, modificar a informação hereditária contida nos genes das larvas, debilitar a imunidade das abelhas e ampliar a sensibilidade aos fungos patógenos que afetam as colônias (JOHNSON et al., 2010; GREGORC et al., 2012; PETTIS et al., 2012; DI PRISCO et al., 2013).

As abelhas insetos são cruciais para a polinização de cerca de 90% das plantas, contribuindo significativamente para a continuação de plantas nativas e o aumento das culturas agrícolas. Segundo o Ministério do Meio Ambiente, polinizadores naturais como as abelhas *Apis mellifera*, geram economia em culturas beneficiadas e em cultivos totalmente dependentes da polinização (MMA, 2014).

A preocupação com o desaparecimento dos polinizadores é global, pois o declínio das populações de abelhas pode levar a diversas consequências negativas, como o desequilíbrio ecológico, a não reprodução da flora e uma redução significativa no cultivo de espécies agrícolas. Relatos de intoxicação de abelhas devido à pulverização de agrotóxicos têm sido registrados em todo o mundo, geralmente associadas ao uso excessivo desses pesticidas que contaminam os recursos florais coletados por elas (BURKLE et al., 2013; TYLIANAKIS, 2013a; BACANDRITSOS et al., 2010).

No Brasil, há diversas descrições de mortes imprevisíveis e inesperadas de abelhas, relacionadas à apresentação a esses produtos tóxicos em plantações agrícolas (TOMAZELA, 2014).

A expansão da população e a crescente demanda por alimentos têm impulsionado o uso de agrotóxicos, que alteram o processo tradicional de produção (RIBAS e MATSUMURA, 2009; OLIVEIRA et al., 2013). A aplicação de agentes químicos não afeta apenas os alvos previstos, mas também causa desequilíbrios ecológicos, contaminando água, solo, fauna, flora e atmosfera (MARGNI et al., 2002; GODFRAY et al., 2014; GREENPEACE, 2017).

Ainda que em pequenas quantidades, os agrotóxicos podem causar desordenação no aprendizado e na memória das abelhas, atrapalhando sua habilidade de navegação e retorno ao ninho. Agrotóxicos biológicos vêm sendo promovidos como alternativas mais sustentáveis aos sintéticos, especialmente em cultivos orgânicos, por serem menos danosos aos polinizadores (HENRY, 2012).

Segundo Cavalcanti (2010), os agrotóxicos podem ser classificados de várias formas, incluindo fungicidas (prevenir infecção por fungos fitopatogênicos), inseticidas (matar insetos), nematicidas (matar nematoides parasitas), herbicidas (controlar ervas daninhas), bactericidas (destruir bactérias) e acaricidas (controlar ácaros). Eles trazem benefícios significativos para a agricultura, compensando problemas produtivos como manejo inadequado do solo e aumento de pragas (VEIGA, 2007).

A Lei nº 7.802/1989 foi criada com o objetivo de realizar a avaliação ambiental dos pesticidas por órgãos como o IBAMA, garantindo protocolos técnicos e científicos rigorosos, assegurando que esses produtos sejam utilizados de forma correta e consciente, garantindo uma melhor eficácia e redução de danos, tanto a saúde humana quanto animal, se preocupando com seus efeitos colaterais (IBAMA, 2017).

A exposição das abelhas a esses agrotóxicos pode ocorrer de várias formas, principalmente através da coleta de seus recursos florais, incluindo ingestão de néctar contaminado com as substâncias e o contato com partículas na atmosfera e nas plantas (KLEIN et al., 2007; PACÍFICO-DA-SILVA, 2015; HEARD et al., 2017).

Existe uma síndrome conhecida como Distúrbio do Colapso das Colônias (CCD) registrada em várias partes do mundo, caracterizada pela rápida perda de abelhas operárias e morte das colônias sem a presença de abelhas mortas dentro ou fora das colmeias, e sim apresentada em longas distâncias, fora de seu habitat

(VANENGELSDORP et al., 2009). As causas do CCD não são totalmente compreendidas, mas fatores como estresse por patógenos, manejo inadequado das colônias, uso de agrotóxicos e má nutrição são apontados como responsáveis (SÁ, 2012).

Pesquisas indicam que a exposição a agrotóxicos causa alterações metabólicas, imunológicas e comportamentais nas abelhas, tornando-as mais sensíveis a infecções e outros estresses. Além disso, a contaminação por agrotóxicos pode afetar a qualidade do mel e outros produtos apícolas (MACRI et al., 2024).

Diante dos desafios apresentados pelo uso de agrotóxicos na agricultura, a busca por alternativas mais sustentáveis e menos impactantes para o meio ambiente é essencial. Isso inclui a adoção de práticas agrícolas mais integradas, como rotação de culturas, manejo integrado de pragas e uso de técnicas de controle biológico, que visam reduzir a dependência de agrotóxicos e promover a saúde das abelhas e outros polinizadores.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão revelou que as abelhas são excelentes bioindicadores devido à sua sensibilidade a mudanças ambientais, abrangência de voo e contato direto com elementos bióticos e abióticos em diversos ecossistemas. Sua saúde e comportamento refletem rapidamente as alterações na qualidade do meio ambiente, tornando-as valiosas para o monitoramento ecológico. As abelhas respondem de maneira precisa a poluentes químicos, mudanças climáticas e transformações na disponibilidade de recursos florais, servindo como indicadores de poluição e degradação ambiental.

Além disso, a pesquisa destacou que as abelhas desempenham um papel crucial na manutenção da biodiversidade através da polinização, um serviço ecossistêmico vital que sustenta a produtividade agrícola e a sobrevivência de plantas nativas. O declínio das populações de abelhas, portanto, não apenas sinaliza problemas ambientais, mas também tem implicações diretas na segurança alimentar e na conservação da biodiversidade.

Dada a relevância das abelhas para a biodiversidade e a produção agrícola, é imperativo implementar estratégias que promovam a sua conservação e proteção.

Isso inclui a redução do uso de agrotóxicos, o incentivo ao uso de práticas agrícolas mais sustentáveis e a implementação de políticas públicas voltadas para a preservação dos habitats naturais das abelhas.

Apesar dos avanços nas pesquisas envolvendo o uso de abelhas como bioindicadores ambientais, a literatura científica recente ainda aponta limitações que precisam ser superadas. Entre elas estão a ausência de métodos padronizados de coleta e análise, a variação dos resultados conforme a espécie de abelha utilizada e as diferenças regionais de contaminação, que dificultam comparações entre estudos (MAIR et al., 2023).

Plataformas científicas como o Observatório de Abelhas Nativas Brasileiras (2025) reforçam que ainda é necessário desenvolver protocolos unificados e ampliar estudos em diferentes biomas brasileiros para que o biomonitoramento com abelhas seja cientificamente consolidado. Além disso, iniciativas globais como o projeto *Bee:Wild* (2025) destacam que a exposição das abelhas a agrotóxicos, metais pesados e poluentes atmosféricos tem aumentado, mas ainda faltam pesquisas de longo prazo para avaliar os efeitos cumulativos desses contaminantes. Portanto, fica evidente que, embora promissor, o uso de abelhas como bioindicadores ainda exige avanços metodológicos e padronização científica para sua aplicação ampla e confiável.

As implicações deste estudo são significativas para a pesquisa científica e para a formulação de políticas ambientais. A utilização de abelhas como bioindicadores pode informar estratégias de monitoramento ambiental mais eficazes e sustentáveis, auxiliando na detecção precoce de problemas ambientais e na implementação de medidas mitigadoras. Além disso, este conhecimento pode contribuir para a conscientização pública sobre a importância da conservação das abelhas e do meio ambiente como um todo.

Recomenda-se que futuras pesquisas se concentrem no desenvolvimento de protocolos padronizados para o uso de abelhas como bioindicadores e na investigação de novas regiões e contextos ecológicos. Também é essencial fomentar programas de educação ambiental que destacam a importância das abelhas e promovem práticas agrícolas e urbanas que sustentam suas populações.

Por fim, a conscientização pública sobre a importância das abelhas e os impactos da poluição ambiental é crucial. A educação ambiental e o engajamento

comunitário são ferramentas poderosas para promover mudanças positivas e garantir um futuro mais sustentável para as próximas gerações.

Em conclusão, as abelhas são bioindicadores valiosos que proporcionam *insights* profundos sobre a saúde ambiental. A promoção de sua conservação e o uso de seu potencial como bioindicadores são essenciais para a sustentabilidade ambiental e a preservação da biodiversidade. Este estudo espera contribuir para a valorização das abelhas no contexto ecológico e incentivar ações que protejam esses importantes polinizadores e, conseqüentemente, o meio ambiente global.

6. REFERÊNCIAS

ALBERO, Beatriz; SÁNCHEZ-BRUNETE, Consuelo; TADEO, José L. Analysis of pesticides in honey by solid-phase extraction and gas chromatography– mass spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 19, p. 5828-5835, 2005.

ALVES, Rodrigo Condé. **Efeitos da interação do padrão de cultivo e das diferentes escalas de uma paisagem agrícola sobre a diversidade de vespas e abelhas**. 2014.

ARAÚJO, Danielson dos Santos. **Análise dos resultados dos planos de controlo de resíduos de pesticidas em produtos de origem vegetal: anos 2007-2009**. 2011, 84p. Dissertação de Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Universidade Nova de Lisboa (Portugal), 2011.

ARAÚJO, Diogo Feliciano Dias. Mel de abelhas *Apis mellifera* (L.) como ferramenta para bioindicação de poluição ambiental. **Dissertação, Universidade de São Paulo, São Paulo**, 2012.

ARIAS, Ana Rosa Linde; BUSS, Daniel Forsin; ALBURQUERQUE, Carla; INÁCIO, Alan Ferreira; FREIRE, Marina Moreira; EGLER, Mariana; MUGNAI, Riccardo; BAPTISTE, Darcilio Fernandes. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, p. 61-72, 2007.

BACANDRITSOS, Nicolaos; GRANATO, Anna, BUDGE, Giles, PAPANASTASIOU, Iosif, ROINIOTI, Erifylli, CALDON, Mauro, FALCARO, Christian, GALLINA, Albino, MUTINELLI, Franco. Sudden deaths and colony population decline in Greek honey bee colonies. **Journal of Invertebrate Pathology**, v.105, n.3, p.335-340, 2010.

BAGLIANO, Roger Vinicius. Principais organismos utilizados como bioindicadores relatados com uso de avaliadores de danos ambientais. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 2, n. 1, p. 24-40, 2012.

BARBOSA, B.C. **Uso de Vespas Sociais (Vespidae: Polistinae) como Bioindicador de Qualidade Ambiental de Fragmento Urbano de Mata Atlântica**. Rio de Janeiro: Nelson de Azevedo Branco, 2013.

BEE:WILD. Relatório Global de Polinizadores, 2025. Disponível em: <https://www.beewild.org>.

BRASIL APÍCOLA. **Estatísticas de produção e comercialização**. (2008).

BRASIL. Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 1989.

BROMENSHENK, Jerry J.; CRONN, Richard C.; NUGENT, John J. Monitoring fluoride with honey bees in the upper Snake River Plain of Idaho. **Journal of Environmental Quality**, Wooster, v. 25, p. 868-877, 1996.

BURKLE, Laura A.; MARLIN, John C.; KNIGHT, Tiffany M. Plant-pollinator interactions over 120 years: loss of species, co-occurrence, and function. **Science**, v. 339, n. 6127, p. 1611-1615, 2013.

BUSS, Daniel Forsin; BAPTISTA, Darcílio Fernandes; NESSIMIAN, Jorge Luiz. Conceptual basis for the application of biomonitoring on stream water quality programs. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 19, p. 465-473, 2003.

CALLISTO, M.; GONÇALVES, Jr., J.F.; MORENO, P. **Invertebrados aquáticos como bioindicadores**. In: **Navegando o Rio das Velhas das Minas aos Gerais**. Belo Horizonte: UFMG, 2004. V. 1, P. 1-12.

CARNEIRO, F F; PIGNATI, W; RIGOTTO, R M; AUGUSTO, L G S. RIZOLLO, A; MULLER, N M; ALEXANDRE, V P. FRIEDRICH, K; MELLO, M S C. Dossiê ABRASCO - Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. **ABRASCO**, Rio de Janeiro, abril de 2017. 1ª Parte. 98p.

CAVALCANTI, Jaciene Alves; FREITAS, Juliano Carlo Rufino; MELO, Adriana Cristina Nascimento; FILHO, João R. de Freitas. Agrotóxicos: uma temática para o ensino de Química. **Química nova na escola**, v. 32, n. 1, p. 31-36, 2010.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **O uso de bioindicadores vegetais no controle da poluição atmosférica**. [internet]. Disponível <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/informacoes-Basicas/Vegetação/8-Bioindicadores>>. Acesso em: 08 jul. 2024.

CHAUZAT, Marie-Pierre; FAUCON, Jean-Paul; MARTEL, Anne-Claire; LACHAIZE, Julie; COUGOULE, Nicolas; AUBERT, Michel. A survey of pesticide residues in pollen loads collected by honey bees in France. **Journal of economic entomology**, v. 99, n. 2, p. 253-262, 2006.

CODEx ALIMENTARIUS. **Residues of pesticide in foods and animal feeds**. Codex Alimentarius Commission - Food and agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization, p. 180, 1998.

COHEN, Joel E. Human population: the next half century. **Science**, v. 302, n. 5648, p. 1172-1175, 2003.

DAVODPOUR, Rezvan et al. Honeybees (*Apis mellifera* L.) as a potential bioindicator for detection of toxic and essential elements in the environment (case study: Markazi Province, Iran). **Archives of environmental contamination and toxicology**, v. 77, n. 3, p. 344-358, 2019.

DEL-CLARO K., TOREZAN-SILINGARDI, H.M. **Ecologia das Interações Plantas-Animais**: uma abordagem ecológico evolutiva. Rio de Janeiro, Technical Books. (2012).

DE PAULA, SNC. Biomonitoramento como instrumento de detecção de contaminantes ambientais. **Monografia do Curso de MBA em Planejamento e Gestão Ambiental. Universidade Veiga de Almeida, Vitória/ES**, 2010.

DE ROSSI, Chiara. **Pesticides in the atmosphere-Occurrence, distribution and behaviour of selected pesticides in the vinicultural area of Trier**, Germany. 2010.

DI PRISCO, Gennaro; CAVALIERE, Valeria; ANNOSCIA, Desiderato; VARRICCHIO, Paola; CAPRIO, Emilio; NAZZI, Francesco; GARGIULO, Giuseppe; PENNACCHIO, Francesco. *Neonicotinoid clothianidin* adversely affects insect immunity and promotes replication of a viral pathogen in honey bees. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 46, p. 18466-18471, 2013.

DOBSON, Andy. Monitoring global rates of biodiversity change: challenges that arise in meeting the Convention on Biological Diversity (CBD) 2010 goals. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 360, n. 1454, p. 229-241, 2005.

E SÁ, Maria Cecilia de Lima. **Efeitos dos agrotóxicos sobre as abelhas silvestres no Brasil: proposta metodológica de acompanhamento**. IBAMA, MMA, 2012.

FERNANDEZ, Mônica; PADRON, Carolina; MARCONI, L.; GHINI, Severino; COLOMBO, Roberto; SABATINI, Anna Glória; GIROTTI, Stefano. Determination of organophosphorus pesticides in honeybees after solid-phase microextraction. **Journal of Chromatography A**, v. 922, n. 1-2, p. 257-265, 2001.

GILL, R. J.; RAMOS-RODRIGUEZ, O. & RAINE, N. E. **Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees**. *Nature* 491, 105-8 (2012).

GODFRAY, H. Charles J. *et al.* A restatement of the natural science evidence base concerning neonicotinoid insecticides and insect pollinators. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 281, n. 1786, p. 20140558, 2014.

GOMES, Priscila Rodrigues. **Indicadores ambientais na discussão da sustentabilidade: uma proposta de análise estratégica no contexto do etanol de cana-de-açúcar no estado de São Paulo**. 2011. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)-Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

GRANDJEAN, Philippe. **Biomarkers in Epidemiology**. Clin Chem. 1995; (12): 1800-3.

GREENPEACE. **The environmental risks of neonicotinoid pesticides: a review of the evidence post-2013**. Disponível em: <https://www.greenpeace.org/italy/Global/italy/report/2017/agricoltura/neonicotinoid_pesticides.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2024.

GREGORC, Aleš; EVANS, Jay D.; SCHARF, Michael E.; ELLIS, James D. Gene expression in honeybee (*Apis mellifera*) larvae exposed to pesticides and Varroa mites (*Varroa destructor*). **Journal of insect physiology**, v. 58, n. 8, p. 1042-1049, 2012.

HALM, Marie-Pierre; RORTAIS, A.; ARNOLD, G.; TASEI, J.N.; RAULT, S. New risk assessment approach for systemic insecticides: the case of honey bees and imidacloprid (Gaucho). **Environmental science & technology**, v. 40, n. 7, p. 2448-2454, 2006.

HANASHIRO, Fabio Toshio Taquicava; ELLER, Márcia Noelia; OL, Cintia Akemi; ALMEIDA, Thaysa Soares. Experiências de uma atividade prática de campo na disciplina de Biologia Geral do curso de Engenharia Ambiental (EAD). In: **Etapas Virtual do Simpósio Internacional de Educação a Distância e Encontro de Pesquisadores em Educação a Distância (SIED: EnPED 2012)**, Date: 2012/09/10-2012/09/22, Location: São Carlos SP Brazil. 2012.

HEARD, Matthew S.; BAAS, Jan; DORNE, Jean Lou C.M.; LAHIVE, Elma; ROBINSON, Alexander G.; RORTAIS, Agnes; SPURGEON, David J.; SVENDSEN, Claus; HESKETH, Helen. Comparative toxicity of pesticides and environmental contaminants in bees: Are honey bees a useful proxy for wild bee species?. **Science of the Total Environment**, v. 578, p. 357-365, 2017.

HELLAWELL, John M. (Ed.). Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. **Elsevier Applied Science**, 1986.

HELLAWELL, John M. Development of a rationale for monitoring. In: **Monitoring for conservation and ecology**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1991. p. 1-14.

HENRY, Mickael; BEGUIN, Maxime; REQUIER, Fabrice; ROLLIN, Orianne; ODOUX, Jean-François; AUPINEL, Pierrick; APTEL, Jean; TCHAMITCHIAN, Sylvie;

DECOURTYE, Axel. A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. **Science**, v. 336, n. 6079, p. 348-350. 2012.

HÖFFEL, I.; MÜLLER, W. Schwermetallrückstände in Honigbienen (*Apis mellifica* L.) in einem Ökosystem (Saarbrücken). **Forum Städte-Hygiene**, Stuttgart, v. 34, p. 191-193, 1983.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Avaliação de risco de agrotóxico para insetos polinizadores e lacunas de conhecimento**. Coordenação de Controle Ambiental de substâncias e produtos perigosos. Nota Técnica 02001.000062/2017.93 CCNP/IBAMA, 2017.

JOHNSON, M., PRICE, D., L'HIRONDELLE, S., FLEMING, R., OGDEN, A. Limited report: tree species vulnerability and adaptation to climate change: final technical report. **Saskatchewan Research Council Publication No.** 12416-110. 2010.

KEVAN, P.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. (Ed.). **Pollinating bees**: the conservation link between agriculture and nature. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2002. 313 p. Disponível em: <http://www.webbee.org.br/bpi/livro_polinizadores.htm>. Acesso em: 08 mar. 2024.

KLEIN, Alexandra-Maria e et.al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the royal society B: biological sciences**, v. 274, n. 1608, p. 303-313, 2007.

KOIFMAN, Sérgio, HATAGIMA, Ana. Exposição aos agrotóxicos e câncer ambiental. In: PERES, Frederico, MOREIRA, Josino Costa (Org.). **É veneno ou é remédio? Agrotóxicos, saúde e ambiente**. Rio de Janeiro, RJ: FIOCRUZ, p. 75-99, 2003.

LIMA, Josanidia Santana. O biomonitoramento como ferramenta complementar na avaliação de impactos ambientais: Discutindo conceitos. **EcoTerra Brasil**. Junho, 2000.

LOPES, B. G. C. Levantamento da entomofauna bioindicadora da qualidade ambiental em diferentes áreas do Alto Jequitinhonha–Minas Gerais. 2008. 47f. **Monografia de Graduação em Ciências Biológicas-Escola Agro técnica Federal de Inconfidentes, Inconfidentes**, 2008.

LOUZADA, Júlio NC; SANCHES, Newton Moreno; SCHINDWEIN, M. N. Bioindicadores de qualidade e de impactos ambientais da atividade agropecuária. **Informe Agropecuário**, v. 21, n. 202, p. 72-77, 2000.

MACRI, Ivana N. et al. Agricultural intensification impairs behavioral abilities and the expression of genes associated with social responsiveness in honeybees. **One Earth**, v. 7, n. 9, p. 1569-1586, 2024

MAIR, Katharina Sophia; IRRGEHER, Johanna; HALUZA, Daniela. Elucidating the role of honey bees as biomonitors in environmental health research. **Insects**, v. 14, n. 11, p. 874, 2023.

MARGNI, Manuele; D. P. O. et al. Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 93, n. 1-3, p. 379-392, 2002.

MARTINELLI, O.J. **Agroquímicos: relatório setorial preliminar**. Porto Alegre: UNESP/GEEIN/UNICAMP/DPCT, 46p. Relatório Técnico DPP, 2003.

MATSUURA, K. **Bioindicadores em Ecossistemas**. Unesco, 2000.

MENDOZA, G.A.; PRABHU, R. Fuzzy methods for assessing criteria and indicators of sustainable forest management. **Ecological Indicators**, Kiel, v. 3, n. 4, p. 227-236, 2004.

MILONE, Joseph P; CHAKRABARTI, Priyadarshini; SAGILI, Ramesh R; TARPY, David R. Colony-level pesticide exposure affects honey bee (*Apis mellifera* L.) royal jelly production and nutritional composition. **Chemosphere**, v. 263, p. 128183, 2021.

MMA-Ministério do Meio Ambiente, 2014. **Polinizadores em risco de extinção são ameaça à vida do ser humano**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/9976-polinizadores-em-risco-de-extin%C3%A7%C3%A3o-%C3%A9-amea%C3%A7a-%C3%A0-vida-do-ser-humano?mpl=component&print=1>. Acesso em 08 de julho de 2024.

MOFFATT, S.F.; McLACHLAM, S.M. Understorey indicators of disturbance for riparian forests along an urban-rural gradient in Monitoba. **Ecological Indicators**, Kiel, v. 4, n. 1, p. 1-16, 2004.

NIEMI, Gerald J.; MCDONALD, Michael E. Application of ecological indicators. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.**, v. 35, n. 1, p. 89-111, 2004.

OBSERVATÓRIO DE ABELHAS NATIVAS BRASILEIRAS. Relatórios técnicos de monitoramento, 2025. Disponível em: <https://www.observatorioabelhas.org.br>.

OLIVEIRA, Tamiris Garbiatti; FAVARETO, Ana Paula Alves; ANTUNES, Patricia Alexandra. Agrotóxicos: Levantamento dos mais utilizados no oeste paulista e seus efeitos como desreguladores endócrinos. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 11, p. 375-390, 2013.

PACÍFICO DA SILVA, Idalécio; OLIVEIRA, Fabiano Aurélio S.; PEDROZA, Heloísa P.; GADELHA, Ivana Cristina N.; MELO, Marília M.; SOTO-BLANCO, Benito. Pesticide exposure of honeybees (*Apis mellifera*) pollinating melon crops. **Apidologie**, v. 46, p. 703-715, 2015.

PAOLETTI, M. G.; BRESSAN, Monica; EDWARDS, C. A. Soil invertebrates as bioindicators of human disturbance. **Critical reviews in plant sciences**, v. 15, n. 1, p. 21-62, 1996.

PAPA, Giulia et al. The use of honey bees (*Apis mellifera* L.) to monitor airborne particulate matter and assess health effects on pollinators. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 32, n. 16, p. 10357-10369, 2025.

PERES, Frederico; MOREIRA, Josino Costa; DUBOIS, Gaetan Serge. Agrotóxicos, saúde e ambiente: uma introdução ao tema. **É veneno ou é remédio**, p. 21-41, 2003.

PETTIS, Jeffery S.; VANENGSDORP, Dennis; JOHNSON, Josephine; DIVELEY, Galen. Pesticide exposure in honey bees results in increased levels of the gut pathogen Nosema. **Naturwissenschaften**, v. 99, p. 153-158, 2012.

POHL, P.; SERGIEL, I.; STECKA, H. Determination and fractionation of metals in honey. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, Boca Raton, v. 39, n. 4, p. 276-288. 2009.

PORRINI, Claudio; SABATINI, Anna Gloria; GIROTTI, Stefano; GHINI, Severino; MEDRZYCKI, Piotr; GRILLENZONI, Francesca; BORTOLOTTI, Laura; GATTAVECCHIA, Enrico; CELLI, Giorgio. Honey bees and bee products as monitors of the environmental contamination. **Apiacta**, v. 38, n. 1, p. 63-70, 2003.

REGO, Michelangelo Matheus da Silva *et al.* **Toxicidade de agrotóxicos em abelhas africanizadas**. 2022.

REIS, Vanderlei Doniseti Acassio. **Mel Orgânico: Oportunidades e desafios para a apicultura no Pantanal**, Corumbá, Brasil, 2003.

RIBAS, Priscila Pauly; MATSUMURA, Aida Terezinha Santos. A química dos agrotóxicos: impacto sobre a saúde e meio ambiente. **Revista Liberato**, v. 10, n. 14, p. 149-158, 2009.

RIBEIRO, R.O.R. **Elementos traços em méis de abelhas (*Apis mellifera*) do estado do Rio de Janeiro, Brasil**: influências da sazonalidade. 2010. 106 p. Dissertação (Mestrado em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2010.

RISSATO, Sandra Regina; GALHIANE, Mário Sérgio; KNOLL, Fátima R.N.; APON, Bernhard M. Supercritical fluid extraction for pesticide multiresidue analysis in honey: determination by gas chromatography with electron-capture and mass spectrometry detection. **Journal of Chromatography A**, v. 1048, n. 2, p. 153-159, 2004.

RODRÍGUEZ, Daniela; OJEDA, Ricardo. Patterns of diversity of the Monte Desert small mammals across multiple spatial scales. **Journal of Arid Environments**, v. 75, n. 5, p. 424-431, 2011.

ROEL, A. R.; PERUCA, R. D.; OLIVEIRA-LIMA, F. V. de; CHEUNG, K. C.; NETO, A. A.; SILVA, L. V. de; SOARES, S. Diversity of Meliponini and others Apiformes (Apidae sensu lato) in a Cerrado fragment and its surrounding, Campo Grande, MS. **Biota Neotropica**, Campinas, SP, v. 19, n. 2, 2019.

SANCHEZ, L.E. **Avaliação de impacto ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 495 p.

SAVOY, V. L. T. Classificação dos agrotóxicos. **Biológico**, São Paulo, v. 73, n. 1, p. 91-92, 2011.

SILVA, Wagner Pereira; PAZ, J. R. L. Abelhas sem ferrão: muito mais do que uma importância econômica. **Natureza on line**, v. 10, n. 3, p. 146-152, 2012.

THOMANZINI, M.J.; THOMANZINI, A.P.B.W. Levantamento de insetos e análise entomofaunística em floresta, capoeira e pastagem no Sudeste Acreano. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Rio Branco, v. 1, n. 35, p. 10-41, 2002.

TOMAZELA, J.M. **Agrotóxico é a causa da morte de 4 milhões de abelhas em gavião Peixoto**. Estadão, 18 de fevereiro 2014. Disponível em: <https://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral,agrotoxico-e-a-causa-da-morte-de-4-milhoes-de-abelhas-em-gaviao-peixoto,1131737>. Acesso em 08 de julho de 2024.

TOMITA, R. Y.; BEYRUTH, Z. Toxicologia de agrotóxicos em ambiente aquático. **Biológico**, v. 64, n. 2, p. 135-142, 2002.

TONG, S.S.C.; MORSE, R.A.; BACHE, C.A.; LISK, D.J. Elemental analysis of honey as an indicator of pollution. **Archives of Environmental & Occupational Health**, Washington, v. 30, p. 329-332, 1975.

TYLIANAKIS, Jason M. Pollination decline in context—response. **Science**, v. 340, n. 6135, p. 924-925, 2013.

TYLIANAKIS, Jason M. The global plight of pollinators. **Science**, v. 339, n. 6127, p. 1532-1533, 2013.

VANENGELSDORP, Dennis; EVANS, Jay D; SAEGERMAN, Claude; MULLIN, Chris; HAUBRUGE, Eric; NGUYEN, Bach Kim; FRAZIER, Maryann; FRAZIER, Jim; COX-FOSTER, Diana; CHEN, Yanping; UNDERWOOD, Robyn; TARPY, David R; PETTIS, Jeffery S. Colony collapse disorder: a descriptive study. **PloS one**, v. 4, n. 8, p. e6481, 2009.

VEIGA, Marcelo Motta. Agrotóxicos: eficiência econômica e injustiça socioambiental. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, p. 145-152, 2007.

VIEIRA, Maria Silvia Galvão; FERREIRA, Rafael Lopes; OLIVATI, Fabrício Narciso. A utilização de bioindicadores como instrumento de perícia ambiental. **Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 5, n. 3, 2014.

WILLIAMSON, Sally M.; WRIGHT, Geraldine A. Exposure to multiple cholinergic pesticides impairs olfactory learning and memory in honeybees. **Journal of Experimental Biology**, v. 216, n. 10, p. 1799-1807, 2013.

WINNER, R. W.; BOESEL, M. W.; FARRELL, M. P. Insect community structure as an index of heavy-metal pollution in lotic ecosystems. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, n. 4, p. 647-655, 1980.

WINK, C.; GUEDES, J. V. C.; FAGUNDES, C. K.; ROVEDDER, A. P. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 4, n. 1, p. 60-71, 2005.

WOLFF, Luis Fernando; DOS REIS, Vanderlei Doniseti Acassio; DOS SANTOS, Régis Sivori Silva. **Abelhas melíferas**: bioindicadores de qualidade ambiental e de sustentabilidade da agricultura familiar de base ecológica. 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. International Programme on Chemical Safety (IPCS) - Environmental Health Criteria 155: **Biomarkers and risk assessment: concepts and principles**. Geneva; 1993.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. International Programme on Chemical Safety (IPCS) - Environmental Health Criteria 214: **Human exposure assessment**. Geneva; 2000.

WOLTERBEEK, Bert. Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. **Environmental pollution**, v. 120, n. 1, p. 11-21, 2002.