

Da história às práticas modernas: a função dos óleos essenciais na sustentabilidade e no controle de insetos

From history to modern practices: the role of essential oils in sustainability and insect control

Igor Luiz Souza da Cruz¹, Tatiane Aparecida Nascimento², Marise Maleck³, Margareth Maria de Carvalho Queiroz⁴

Como citar esse artigo. CRUZ, I. L. S. NASCIMENTO, T. A. MALECK, M. QUEIROZ, M. M. C. Da história às práticas modernas: a função dos óleos essenciais na sustentabilidade e no controle de insetos. *Mosaico - Revista Multidisciplinar de Humanidades*, Vassouras, v. 15, n. 2, p. 86-96, mai./ago. 2024.

Resumo

A utilização de óleos essenciais (OEs) remonta séculos e está enraizada na extração de fitoprodutos complexos de diversas partes das plantas. Reconhecidos por suas propriedades bioativas, esses óleos essenciais são amplamente explorados em aplicações variadas, especialmente como repelentes e inseticidas naturais, em contraste com os pesticidas sintéticos prejudiciais ao meio ambiente. Esta revisão de literatura destaca o potencial dos OEs na conservação ambiental e como alternativa sustentável aos inseticidas químicos, promovendo práticas de manejo de pragas menos prejudiciais. A utilização desses compostos naturais não só minimiza a exposição a produtos químicos sintéticos, mas também promove práticas agrícolas que conservam a biodiversidade local. Com a crescente preocupação ambiental e pragas resistentes, os óleos essenciais extraídos de plantas oferecem um controle de pragas eficaz e sustentável, reduzindo a dependência de químicos e incentivando práticas agrícolas responsáveis.

Palavras-chave: fitoproduto; inseticida; conservação ambiental.



Nota da Editora. Os artigos publicados na Revista Mosaico são de responsabilidade de seus autores. As informações neles contidas, bem como as opiniões emitidas, não representam pontos de vista da Universidade de Vassouras ou de suas Revistas.

Abstract

The use of essential oils (EOs) dates back centuries and is rooted in the extraction of complex phytoproducts from various parts of plants. Recognized for their bioactive properties, these essential oils are widely exploited in diverse applications, particularly as natural repellents and insecticides, contrasting with synthetic pesticides harmful to the environment. This literature review highlights the potential of EOs in environmental conservation and as a sustainable alternative to chemical insecticides, promoting less harmful pest management practices. The use of these natural compounds not only minimizes exposure to synthetic chemicals but also fosters agricultural practices that conserve local biodiversity. With growing environmental concerns and pesticide-resistant pests, essential oils extracted from plants offer effective and sustainable pest control, reducing dependence on chemicals and promoting responsible agricultural practices.

Keywords: phytoproduct; insecticide; environmental conservation.

Introdução

Os óleos essenciais (OEs) são fitoprodutos complexos, compostos por diversas substâncias bioativas, amplamente utilizados em todo o mundo. Obtidos através de técnicas de extração específicas, esses óleos possuem propriedades únicas derivadas de diferentes partes das plantas, sendo os terpenoides seus principais componentes. Há séculos, seus benefícios têm sido explorados em diversas aplicações, destacando-se seu uso como repelentes de insetos, especialmente contra mosquitos. Além disso, vários estudos comprovam que os óleos essenciais atuam também como inseticidas, oferecendo uma alternativa natural no controle de pragas (JANKOWSKA *et al.*, 2018).

Afiliação dos autores: ¹Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Saúde – Instituto Oswaldo Cruz (IOC/FIOCRUZ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil; Professor do Curso de Biomedicina do Centro Universitário de Valença, Valença, RJ, Brasil; Laboratório Integrado: Simulídeos e Oncocercose & Entomologia Médica e Forense – Instituto Oswaldo Cruz (IOC/FIOCRUZ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ²Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Saúde – Instituto Oswaldo Cruz (IOC/FIOCRUZ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ³Doutora em Biologia Celular e Molecular – Instituto Oswaldo Cruz (IOC/FIOCRUZ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil; Professor aposentado do Colégio Pedro II, Rio de Janeiro, RJ, Brasil; Pesquisador colaborador do Laboratório Integrado: Simulídeos e Oncocercose & Entomologia Médica e Forense – Instituto Oswaldo Cruz (IOC/FIOCRUZ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ⁴Doutora em Ciências Veterinárias – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ, Brasil. Pesquisadora Titular em Saúde Pública do Instituto Oswaldo Cruz / Fundação Oswaldo Cruz (IOC/FIOCRUZ); Chefe do Laboratório Integrado: Simulídeos e Oncocercose & Entomologia Médica e Forense (LSOEMF) e Docente Permanente do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Saúde (IOC/FIOCRUZ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail de correspondência: mmcqueiroz@gmail.com

Recebido em: 11/07/2023. Aceito em: 19/08/2024.

Na busca por alternativas no controle de insetos vetores, um dos métodos mais utilizados no manejo sustentável e integrado de vetores em Saúde Pública é a utilização de compostos químicos. No entanto, muitos desses produtos permanecem ativos por longos períodos no meio ambiente e, devido à sua volatilização, podem contaminar áreas adjacentes ao local de aplicação, afetando diversos organismos não-alvo (SHAFEEQUE; AHMAD; KAMAL, 2020). Diante desse cenário, torna-se essencial o desenvolvimento de novas estratégias de controle de vetores que não sejam prejudiciais ao meio ambiente. Estes produtos naturais de plantas não apenas mostram eficácia no controle de pragas (YANG; TANG, 1988) e vetores (GHOSH; CHOWDHURY; CHANDRA, 2012), mas também promovem a conservação ambiental, contribuindo para práticas sustentáveis e para a proteção dos ecossistemas.

Este estudo realizou uma revisão de literatura, considerando o histórico e as diversas aplicações dos óleos essenciais, com o objetivo de relacionar essas informações ao impacto dos inseticidas químicos atualmente utilizados. Buscou-se destacar o potencial dos óleos essenciais na conservação ambiental e apresentar uma alternativa sustentável aos compostos químicos sintéticos, promovendo práticas de manejo de pragas menos prejudiciais ao meio ambiente. Para isso, foi adotada uma abordagem abrangente, incluindo pesquisas qualitativas e análises bibliográficas. Esta metodologia permitiu definir uma linha temporal da utilização dos óleos essenciais, investigando seu estado atual como método de controle em escala global. Estudos quantitativos também foram incorporados, proporcionando uma análise aprofundada dos impactos ambientais causados pelos inseticidas químicos. Esta combinação de metodologias oferece uma visão abrangente, destacando tanto os benefícios potenciais dos óleos essenciais quanto os desafios associados ao uso contínuo de inseticidas sintéticos. Ao explorar a eficácia e os benefícios dos óleos essenciais, este estudo pretendeu não apenas evidenciar suas vantagens, mas também incentivar a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias inovadoras que possam maximizar seu potencial no manejo sustentável de pragas e vetores.

A Evolução dos Óleos Essenciais: Uma Perspectiva Histórica

A história dos óleos essenciais tem suas raízes no Oriente, onde o processo de destilação, fundamental para a produção de óleos, foi desenvolvido há mais de 2000 anos em regiões como Egito, Pérsia e Índia. Apesar da escassez de dados sobre métodos antigos, sabe-se que o óleo de terebintina foi um dos primeiros a ser destilado. Ao longo da Idade Média, a destilação era principalmente utilizada para produzir águas destiladas, e os óleos essenciais eram frequentemente vistos como subprodutos. Com o tempo, a arte da destilação evoluiu no Ocidente, especialmente após o trabalho de figuras como Arnaldo de Villanova (1235-1311), médico e alquimista, que introduziu a destilação de óleos essenciais na terapia europeia (VERGIS *et al.*, 2013).

Do século XVI ao XVIII, a produção de óleos essenciais tornou-se mais difundida, principalmente na Europa. Hieronymus Brunschwig, na França, e Adam Lonicer, na Alemanha, foram pioneiros no reconhecimento da importância medicinal desses óleos. Ainda na França, farmacêuticos como Moyse Charas e Nicolas Lemery aperfeiçoaram os métodos de destilação e trouxeram tratados sobre os óleos essenciais. Esses avanços culminaram na aceitação oficial dos óleos essenciais na medicina e na farmácia, destacando seu papel essencial na terapêutica europeia e seu impacto duradouro na indústria de óleos essenciais (BENCHAAR; HRISTOV; GREATHEAD, 2009; COTTE *et al.*, 2019).

A revolução na área da química, iniciada no final do século XVIII com o trabalho de Antoine-Laurent Lavoisier em Paris, França, trouxe uma nova abordagem para a investigação da natureza dos óleos essenciais. Esse período de intensa pesquisa culminou na ampla utilização dos óleos essenciais, não apenas na medicina, mas também na produção de perfumes, bebidas e alimentos. A “Era Elisabetana” da indústria de óleos essenciais, caracterizada pelo trabalho do químico alemão Otto Wallach e seus colaboradores, marcou uma fase de descobertas contínuas e síntese de novos componentes. As fundações estabelecidas por esses pioneiros continuam a influenciar as pesquisas contemporâneas em química de óleos essenciais, além de serem indispensáveis para o desenvolvimento de métodos para a análise e controle de qualidade,

evitando fraudes e adulterações (URDANG, 2008; BERETTA; BRENNI, 2022).

Após séculos de evolução, a produção moderna de óleos essenciais atualmente se baseia em princípios que variam entre dois extremos distintos. De um lado, métodos primitivos ainda em uso, em que plantas aromáticas são cultivadas de maneira simples e o óleo é destilado em pequenas unidades dispersas, refletindo uma indústria localizada e descentralizada. Por outro lado, há métodos avançados baseados em modernas técnicas de agricultura mecanizada, engenharia e produção em massa, que operam em instalações centralizadas, visando maior eficiência e qualidade. A indústria moderna de óleos essenciais não se limita apenas à produção e distribuição, mas também abrange o desenvolvimento e teste de aromáticos sintéticos, essenciais para muitos produtos de nossa civilização avançada (URDANG, 2008).

Origem, Biossíntese e Aplicações das Plantas Aromáticas

A variabilidade dos óleos essenciais é extensa, com cerca de 3000 tipos descritos, dos quais aproximadamente 300 são utilizados comercialmente nas indústrias de sabores e fragrâncias. Essa diversidade química nas plantas aromáticas representa um desafio, e pesquisas têm investigado diversos fatores, além dos genéticos, que contribuem para essa variação. Por exemplo, diferentes raças da mesma espécie, como *Melaleuca bracteata*, produzem óleos essenciais com constituintes principais distintos, como metileugenol, metiliso Eugenol e elemicina. Outras plantas aromáticas, como *Acorus calamus* (açoro), *Artemisia absinthium* (absinto), *Ocimum basilicum* (manjeriço), *Melissa officinalis* (erva-cidreira), *Thymus vulgaris* (tomilho), *Cinnamomum camphora* (canforeira), *Mentha piperita* (hortelã-pimenta) e *Tanacetum vulgare* (atanásia), também foram amplamente estudadas, revelando diferentes quimiotipos e raças químicas. Além disso, fatores como clima, precipitação e origem geográfica da planta podem modificar a composição química dos óleos essenciais. Esses óleos geralmente são formados como metabólitos secundários e podem estar armazenados em células indiferenciadas ou em órgãos secretores, como tricomas glandulares, dutos e cavidades. Em alguns casos, o óleo essencial é produzido através da hidrólise de compostos presentes na planta, como ocorre na *Valeriana officinalis* (valeriana) e no *Allium sativum* (alho). Podem ser formados em todas as partes da planta, incluindo flores, folhas, caules, cascas, frutos, sementes, raízes e rizomas, desempenhando funções diversas, como polinização, defesa contra herbívoros, ação antioxidante, antifúngica e antibacteriana (RÍOS, 2016; EVANS, 2009).

Os óleos essenciais são misturas complexas de compostos voláteis produzidos por organismos vivos e isolados por meios físicos, como a prensagem e a destilação, a partir de uma planta inteira ou parte dela de origem taxonômica conhecida. Esses compostos derivam de três principais vias biossintéticas: a via do mevalonato, que leva aos sesquiterpenos; a via do metil-eritritol, que leva aos monoterpenos e diterpenos; e a via do ácido chiquímico, que leva aos fenilpropanoides. No entanto, existe uma enorme variedade de substâncias individuais e uma grande variação na composição dos óleos essenciais. Muitos desses compostos voláteis têm diversas funções ecológicas, como atuar como mensageiros internos, substâncias defensivas contra herbívoros, ou voláteis que atraem inimigos naturais desses herbívoros e polinizadores para suas plantas hospedeiras (FRANZ; NOVAK, 2020; VENÂNCIO et al., 2023).

Os óleos essenciais são utilizados na indústria alimentícia, cosmética, de produtos de limpeza, de fragrâncias, de herbicidas e inseticidas, entre outros, sendo extraídos de uma vasta gama de plantas e ervas. Desde tempos antigos, várias dessas plantas são empregadas na medicina tradicional como digestivas, diuréticas, expectorantes e sedativas, e atualmente são comercializadas como infusões, comprimidos ou extratos. A aromaterapia, ramo da medicina alternativa que atribui efeitos curativos a óleos essenciais e compostos aromáticos, tem contribuído para a popularização desses produtos (FORNARI et al., 2012).

Os óleos essenciais têm sido fundamentais ao longo da história humana, não apenas por suas propriedades terapêuticas, mas também como componentes essenciais em rituais religiosos, cuidados pessoais e remédios na medicina tradicional. Extraídos de uma ampla variedade de plantas como tomilho, menta e eucalipto, esses produtos voláteis continuam a ser valorizados por suas propriedades

antioxidantes, anti-inflamatórias e antissépticas (SANGWAN *et al.*, 2001).

A preservação proporcionada pelas plantas é reconhecida há séculos, pela utilização de uma variedade de ervas e especiarias para estender a vida útil dos alimentos. Recentemente, as propriedades antibacterianas desses extratos vegetais têm sido objeto de investigação detalhada, revelando sua eficácia contra uma ampla gama de microrganismos responsáveis pela deterioração alimentar. Estudos demonstraram que extratos como os de cravo, alho, orégano e tomilho são particularmente eficazes, destacando seu potencial como conservantes naturais em substituição aos produtos químicos convencionais (DEANS; RITCHIE, 1987).

Além disso, a utilização de extratos vegetais como preservativos naturais também se estende ao controle de doenças em plantas, que reduzem a vida útil dos produtos agrícolas e causam prejuízos para agricultores e produtores. O uso excessivo de bactericidas químicos e antibióticos tem contribuído para o desenvolvimento de resistência em bactérias patogênicas, destacando a importância crescente de compostos de origem natural para conter o crescimento bacteriano e melhorar a durabilidade dos alimentos. Com seus compostos antibacterianos, os extratos vegetais apresentam um alto potencial como preservativos naturais, capazes de controlar a deterioração e prolongar a vida útil dos produtos vegetais, enquanto desempenham um papel essencial na erradicação de agentes patogênicos e pragas agrícolas (BOLOURI *et al.*, 2022).

No contexto da saúde humana, o problema da resistência bacteriana também se mostra crítico. Atualmente, observa-se um aumento na frequência de isolamento de bactérias que antes eram sensíveis a medicamentos comuns, mas que agora apresentam resistência aos fármacos disponíveis no mercado. Esse fenômeno é particularmente preocupante devido ao crescente número de pacientes em hospitais com imunidade suprimida, o que os torna mais suscetíveis a novas infecções, que aumentam os riscos de morbidade e mortalidade. Estima-se que o desenvolvimento de um novo antibiótico possa levar mais de 10 anos e custar mais de 200 milhões de dólares. Como alternativa, as indústrias têm buscado modificar quimicamente a estrutura dos antibióticos existentes para torná-los mais eficientes ou recuperar a atividade prejudicada pelos mecanismos bacterianos de resistência. A pesquisa de terapias alternativas, como os óleos essenciais, tem mostrado resultados promissores, com diversos estudos clínicos demonstrando sua eficácia contra bactérias resistentes, como o *Staphylococcus aureus* resistente à metilina (MRSA), como uma solução favorável contra infecções hospitalares e comunitárias (CHAO *et al.*, 2008; BRAGA *et al.*, 2020).

Além das propriedades antibacterianas, os óleos essenciais também possuem uma robusta atividade antifúngica. Estudos *in vitro* e *in vivo* demonstram que esses óleos podem ser utilizados como agentes antifúngicos eficazes, sem efeitos colaterais adversos em humanos e animais. Componentes como carvacrol, timol, pineno e linalol são especialmente eficazes na inibição do crescimento de fungos patogênicos, como *Aspergillus*, *Fusarium* e *Alternaria*, conhecidos por causar grandes perdas na agricultura e infecções superficiais em humanos, incluindo micoses e dermatofitoses. Essas infecções, que afetam tanto indivíduos saudáveis quanto imunocomprometidos, têm impulsionado a busca por alternativas naturais devido à resistência crescente aos antifúngicos convencionais. A composição rica em terpenos e compostos fenólicos dos óleos essenciais permite que eles ataquem os patógenos através da parede e membrana celular, inibindo seu crescimento de forma eficaz. Pesquisas científicas destacam o potencial desses óleos e extratos vegetais como terapias naturais contra infecções fúngicas, oferecendo uma opção segura e eficaz com menos efeitos colaterais em comparação aos medicamentos sintéticos. Dessa forma, os óleos essenciais se mostram uma alternativa valiosa na luta contra fungos patogênicos, beneficiando tanto a saúde humana quanto a segurança alimentar (TABASSUM; VIDYASAGAR, 2013).

Além de suas propriedades antibacterianas e antifúngicas, os óleos essenciais também se destacam como potentes agentes inseticidas naturais. A crescente preocupação com os efeitos adversos dos pesticidas sintéticos sobre a saúde humana e o meio ambiente impulsiona a busca por alternativas mais seguras e sustentáveis. Estudos demonstraram que compostos presentes nesses óleos, como carvacrol, timol e eucaliptol, exibem toxicidade de contato e fumigante contra diversos insetos e ácaros de importância

econômica, além de fungos patogênicos de plantas. Embora o desenvolvimento de produtos comerciais à base de óleos essenciais ainda enfrente desafios, como questões de custo e regulamentação, a demanda crescente por pesticidas naturais fomenta avanços nesse campo. Produtos à base de óleos essenciais já estão em uso em várias regiões agrícolas importantes, como EUA, UE, China e América Latina, evidenciando seu potencial como alternativas seguras e eficazes aos pesticidas convencionais (ISMAN, 2000; 2020).

Aspectos Regulatórios e de Segurança na Indústria de Óleos Essenciais

A produção, rotulagem e comercialização de óleos essenciais são reguladas por diversas entidades e normas ao redor do mundo para garantir a segurança, a qualidade e a transparência dos produtos. Nos Estados Unidos, os óleos essenciais são regulamentados pela *Food and Drug Administration* (FDA). Dependendo de como são comercializados, podem ser classificados como cosméticos, medicamentos ou suplementos. A rotulagem deve estar em conformidade com os regulamentos da FDA e não pode incluir alegações terapêuticas não aprovadas. Já na União Europeia, os óleos essenciais podem ser considerados substâncias químicas e, portanto, devem cumprir o regulamento administrado pela *European Chemicals Agency* (ECHA), que trata do registro, avaliação, autorização e restrição de produtos químicos. A rotulagem deve incluir uma lista de ingredientes, precauções de uso e informações sobre alérgenos. Na Austrália, os óleos essenciais utilizados com fins terapêuticos são regulamentados pela *Therapeutic Goods Administration* (TGA). A rotulagem deve ser clara e incluir informações como composição, modo de uso, restrições e prazo de validade.

No Japão, os óleos essenciais devem ser aprovados pela *Pharmaceuticals and Medical Devices Agency* (PMDA). A rotulagem deve conter informações detalhadas sobre segurança e uso dos produtos. No Brasil, ainda não há uma instrução normativa específica que trate do registro diferenciado de produtos fitossanitários com ingredientes ativos de origem vegetal (ANVISA, 2020). Para alguns óleos essenciais que provocam respostas comportamentais ou fisiológicas em insetos, o registro tem sido feito com base em normativas que abordam produtos semioquímicos. Para produtos que não se enquadram como semioquímicos ou bioquímicos, a orientação é registrá-los como produtos químicos convencionais, seguindo todos os requisitos e estudos exigidos pela legislação de agrotóxicos (BRASIL, 2011).

As regulamentações e padrões de segurança para óleos essenciais variam entre os países, mas todos têm como objetivo principal proteger os consumidores e garantir a qualidade dos produtos. A *International Organization for Standardization* (ISO) desenvolve padrões internacionais para óleos essenciais, incluindo métodos de teste e critérios de pureza. Alguns padrões relevantes são ISO 9235, que define termos relativos a óleos essenciais, e ISO 210, que especifica os requisitos para diversos óleos essenciais. Portanto, o registro de produtos à base de óleos essenciais é fundamental para assegurar a segurança da saúde humana, de outros organismos não-alvo e do meio ambiente (NEHA et al., 2024).

A Evolução e os Impactos dos Inseticidas Químicos: Do DDT ao Controle Integrado de Pragas

O desenvolvimento do DDT (Dicloro-Difenil-Tricloroetano) durante a Segunda Guerra Mundial marcou o início de uma nova era nos inseticidas (METCALF, 1973). Inicialmente utilizado para controlar os vetores de patógenos causadores de doenças como malária e tifo entre tropas, o DDT rapidamente se popularizou na agricultura pós-guerra devido à sua eficácia e baixo custo (STAPLETON, 2004; LI, 2022). Nesse período, houve uma expansão no desenvolvimento de inseticidas organoclorados e organofosforados, como clordano, heptacloro, malation e paration. No entanto, a falta de regulamentação adequada e o uso indiscriminado desses produtos ao longo do tempo trouxe à tona preocupações substanciais em relação à saúde humana, animal e ao meio ambiente (VAN DYK; PLETSCHKE, 2011).

Na década de 1970, o mundo foi alertado sobre os perigos do uso abusivo de defensivos químicos, principalmente após a publicação do livro “Primavera Silenciosa” em 1962, escrito pela cientista Rachel

Carson (BOUWMAN *et al.*, 2013). Essa obra levou ao aumento da conscientização sobre os perigos dos pesticidas (CARSON, 1962). Como resultado, o DDT foi banido nos Estados Unidos em 1972. Além disso, novos compostos, como os piretroides, começaram a ser desenvolvidos, prometendo maior segurança (UMETSU; SHIRAI, 2020).

Antes da introdução dos inseticidas sintéticos, a nicotina, o piretro e compostos inorgânicos eram amplamente utilizados no controle de pragas domésticas e agrícolas. Para vetores de patógenos de doenças de importância em saúde pública, o controle era majoritariamente feito por métodos não químicos até a chegada do DDT e de outros inseticidas sintéticos. A introdução do DDT marcou o início de uma era de controle generalizado sobre várias espécies de artrópodes. No entanto, fatores como a persistência ambiental, a toxicidade, o uso inadequado e a resistência dos artrópodes aos pesticidas/inseticidas resultaram na proibição ou na ineficácia de muitas dessas formulações químicas. A situação foi ainda mais complicada pela proibição de diversos ingredientes ativos devido à sua toxicidade para humanos, animais e para o meio ambiente. Embora essas proibições reduzam a exposição a compostos prejudiciais, elas também diminuem a quantidade de pesticidas disponíveis para o controle de vetores transmissores de patógenos de doenças. Além disso, a rápida reprodução dos artrópodes permite que eles desenvolvam resistência rapidamente a várias pressões seletivas, tornando muitos inseticidas anteriormente eficazes ineficazes contra populações selvagens de vetores de patógenos de doenças (NORRIS; BARTHOLOMAY; COATS, 2018).

A partir dos anos 1990, os neonicotinoides emergiram como os inseticidas mais populares devido à sua eficácia em proteger todas as partes das plantas ao serem absorvidos e distribuídos através dos tecidos vegetais. Esses compostos, como imidacloprido, acetamiprido e tiametoxam, agem como neurotoxinas para a maioria dos artrópodes, ligando-se irreversivelmente aos receptores nicotínicos de acetilcolina, causando paralisia nesses organismos. No entanto, embora eficazes, os neonicotinoides também têm impacto negativo sobre organismos não-alvo, incluindo polinizadores de diversas espécies de plantas como as abelhas. A resistência das pragas a esses inseticidas impulsiona a pesquisa e o desenvolvimento de novas formulações, como fenilpirazóis e piretroides de quarta geração. Além disso, a era pós-genômica trouxe inovações como a modificação genética de baculovírus e a produção de plantas que sintetizam toxinas bacterianas, oferecendo novas ferramentas para o controle de pragas e vetores (OBEREMOK *et al.*, 2015).

Desde a década de 1980 até o presente, ficou evidente que era necessário reduzir o uso de produtos químicos no mundo, o que impulsionou a adoção de tecnologias de controle integrado de insetos e métodos mais sustentáveis começaram a ser adotados por governos ao redor do globo (BUSVINE, 1980; RUBINO *et al.*, 2013).

Após a introdução dos pesticidas orgânicos sintéticos, a estratégia de desenvolvimento para novos produtos tem sido guiada por três diretrizes principais: (1) criar pesticidas eficazes em doses extremamente baixas, (2) desenvolver formulações que se degradam facilmente, reduzindo os resíduos ambientais, e (3) produzir agroquímicos seletivamente tóxicos. A primeira diretriz resultou em uma notável diminuição na quantidade de ingrediente ativo necessário para o controle de pragas, aliviando a carga de pesticidas no ambiente. A segunda reduziu os níveis de resíduos químicos nas colheitas e no meio ambiente. A terceira, focada em compostos que afetam exclusivamente os organismos-alvo, como insetos, fungos, ácaros, nematoides e ervas daninhas, sem serem prejudiciais a humanos e organismos benéficos, tem sido vital para desenvolver pesticidas mais seguros e sustentáveis. Essas estratégias têm ganhado destaque ao longo do tempo. Nas décadas de 1930 a 1950, a aplicação de ingredientes ativos por unidade de área era alta, resultando em um impacto ambiental considerável. Contudo, desde então, muitos pesticidas eficazes em quantidades menores foram desenvolvidos, reduzindo substancialmente a taxa de aplicação por unidade de área e o consequente impacto ambiental (UMETSU; SHIRAI, 2020).

Consequências Ambientais dos Inseticidas: Impactos no Ecossistema e Alternativas Sustentáveis

A conexão entre o movimento ambientalista e a ecotoxicologia desde seus primórdios está intimamente ligada ao uso extensivo de pesticidas sintéticos na agricultura e silvicultura. A preocupação com esses produtos químicos se concretizou no início da década de 1970, quando o uso desenfreado desses “produtos químicos milagrosos” na Indonésia e nas Filipinas resultou no colapso das safras de arroz. A eliminação de predadores naturais nos ecossistemas de arrozais levou ao aumento descontrolado de espécies de pragas, como os percevejos da espécie *Nilaparvata lugens* (Stål, 1854) (Hemiptera: Delphacidae), que devastaram as colheitas. Esse cenário de dependência química terminou quando o governo indonésio proibiu muitos inseticidas e restringiu o uso de outros pesticidas. A partir de então, os agricultores foram incentivados a promover inimigos naturais das pragas para controlar ou prevenir seus surtos nos ecossistemas agrícolas (SÁNCHEZ-BAYO, 2011), e o uso de pesticidas passou a ser integrado a práticas biológicas e agronômicas que protegem o ecossistema.

A aplicação de inseticidas sintéticos nas lavouras agrícolas é uma prática comum para o controle de pragas, com uma quantidade global de 4,12 milhões de toneladas utilizadas em 2018, conforme relatado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO). Esses produtos químicos, que incluem organoclorados, organofosforados, carbamatos e piretroides, podem permanecer no ambiente por períodos variados, de dias a anos. A exposição a esses inseticidas representa um risco para uma ampla gama de polinizadores, incluindo insetos e mamíferos, que podem entrar em contato com esses produtos por meio da inalação, forrageamento em plantas contaminadas ou consumo de água poluída. Esses poluentes causam efeitos subletais como estresse oxidativo, que afeta o crescimento, desenvolvimento, alimentação, termorregulação, memória e comportamento de forrageamento dos insetos polinizadores, além de causar danos hepáticos e distúrbios sensoriais em mamíferos como os morcegos (ARA; HAQUE, 2021).

A polinização realizada por insetos e mamíferos é crucial para a agricultura global, contribuindo para o rendimento das colheitas e a reprodução das plantas com flores. Estima-se que os serviços de polinização proporcionem um valor econômico anual entre 195 bilhões e 387 bilhões de dólares. Polinizadores de plantas como as abelhas não apenas aumentam a produtividade agrícola, mas também melhoram a qualidade dos produtos, enquanto o mel produzido por elas oferece benefícios nutricionais importantes. No entanto, o declínio das populações de polinizadores devido à exposição aos inseticidas compromete a segurança alimentar global, uma vez que a ausência desses agentes pode reduzir drasticamente os rendimentos das colheitas. Assim, a conservação dos polinizadores é essencial para garantir a resiliência da polinização das culturas e a segurança alimentar mundial (ARA; HAQUE, 2021).

Para os seres humanos, a exposição a inseticidas químicos pode resultar em toxicidade aguda, com sintomas como náusea, vômito, dores de cabeça, convulsões e, em casos extremos, morte (EDDLESTON, 2020). Além disso, a exposição crônica está ligada a doenças como câncer, distúrbios neurológicos e problemas reprodutivos. Resíduos de inseticidas em alimentos representam outra via de exposição humana (KALYABINA et al., 2021). Inseticidas podem ser altamente tóxicos para uma ampla gama de organismos, incluindo peixes, pássaros e insetos não-alvo, resultando em mortandade direta (HASHIMI; HASHIMI; RYAN, 2020). A bioacumulação de compostos persistentes, nas cadeias alimentares pode causar efeitos tóxicos em predadores de topo, incluindo problemas reprodutivos e aumento da mortalidade (REZENDE-TEIXEIRA et al., 2022).

A contaminação do solo e da água é um dos principais problemas associados ao uso de inseticidas (SPADOTTO et al., 2004). Esses compostos podem infiltrar-se no solo e contaminar lençóis freáticos e corpos d'água superficiais (DE SOUZA et al., 2020). A perda de biodiversidade é uma consequência direta do uso indiscriminado, que pode levar à morte de organismos benéficos e ao desequilíbrio ecológico (ZALLER et al., 2022). Além disso, a resistência dos insetos pragas e vetores aos inseticidas, desenvolvida

pelo uso contínuo, torna esses produtos químicos menos eficazes e exige a busca por alternativas mais sustentáveis (SPARKS *et al.*, 2021).

A biorremediação é um processo inovador que visa remediar a contaminação ambiental causada pelo uso de agroquímicos. Definida como o uso de organismos vivos, como bactérias e plantas, para degradar ou remover contaminantes do solo e da água, esta técnica oferece uma abordagem sustentável para restaurar a saúde dos ecossistemas agrícolas. Ao contrário dos métodos tradicionais, que muitas vezes envolvem o uso de produtos químicos adicionais, a biorremediação aproveita as capacidades naturais dos organismos para decompor os resíduos tóxicos, reduzindo assim a carga ambiental e os riscos para a saúde humana (NAEEM *et al.*, 2022). Essa prática não só ajuda a mitigar os impactos negativos dos inseticidas, mas também promove uma agricultura mais segura e ecologicamente responsável.

A busca por alternativas mais sustentáveis e menos prejudiciais à saúde e ao meio ambiente tem levado à substituição de pesticidas sintéticos por biopesticidas e outras soluções orgânicas. No entanto, apesar de seus benefícios, os biopesticidas enfrentam desafios significativos, como custos elevados de produção, eficácia inconsistente e a necessidade de conhecimento especializado por parte dos agricultores. Esses fatores limitam seu uso em larga escala, restringindo-os a nichos específicos de mercado. Adicionalmente, o manejo integrado de pragas (MIP) tem sido promovido como uma abordagem eficaz que combina métodos químicos, culturais, biológicos e mecânicos para minimizar o uso de pesticidas e reduzir os impactos negativos associados ao seu uso indiscriminado (HOSSAIN; RAHMAN; KHAN, 2017).

Nesse cenário, os óleos essenciais emergem como uma solução promissora. Derivados de plantas, esses compostos naturais apresentam diversas atividades inseticidas, fumigantes, antialimentares, atrativas e repelentes contra uma ampla gama de insetos e outros artrópodes. A complexidade química dos OEs e a ação sinérgica entre seus componentes aumentam sua eficácia, tornando-os uma ferramenta valiosa para o manejo de insetos em ambientes agrícolas e de armazenamento de alimentos (MOSSA, 2016).

Além disso, os óleos essenciais são especialmente adequados para a agricultura orgânica e o manejo integrado de pragas, devido à sua origem natural, biodegradabilidade e múltiplos alvos fisiológicos nos insetos. Essas características podem retardar a evolução da resistência dos insetos e oferecer uma alternativa sustentável aos pesticidas sintéticos. No entanto, a implementação em larga escala dos OEs ainda enfrenta desafios regulatórios, pois o processo de registro de novos produtos pode ser caro e complexo. Mesmo assim, o crescente interesse público e o apoio dos produtores orgânicos destacam os óleos essenciais como uma solução viável e ecológica para o controle de pragas, contribuindo para a sustentabilidade da agricultura moderna (REGNAULT-ROGER; VINCENT; ARNASON, 2012).

Considerações Finais

Com a crescente preocupação ambiental e a resistência desenvolvida por muitos insetos pragas e vetores aos inseticidas convencionais, tornou-se urgente a busca por alternativas mais seguras e sustentáveis. Nesse contexto, os óleos essenciais emergem como uma solução promissora. Extraídos de plantas aromáticas, esses compostos naturais possuem propriedades inseticidas, antibacterianas e antifúngicas, oferecendo uma abordagem alternativa e menos agressiva ao controle de pragas e vetores de patógenos. Os óleos essenciais não só apresentam eficácia no combate a insetos e microrganismos patogênicos, mas também promovem a conservação ambiental. Sua utilização pode reduzir significativamente a dependência de produtos químicos sintéticos, diminuindo os riscos de contaminação do solo, água e dos organismos não-alvo. Além disso, o emprego de óleos essenciais no manejo integrado de pragas alinha-se com as diretrizes globais de sustentabilidade, contribuindo para práticas agrícolas mais responsáveis e seguras.

No entanto, apesar dos benefícios, a adoção de óleos essenciais como alternativa aos inseticidas convencionais enfrenta desafios. Questões relacionadas ao custo de produção, regulamentação e padronização dos produtos precisam ser resolvidas para garantir a eficácia e segurança no uso desses

compostos em larga escala. Além disso, é fundamental continuar investindo em pesquisas que explorem novos métodos de extração e aplicação, visando maximizar o potencial dos óleos essenciais no controle de pragas e vetores. Portanto, a integração de óleos essenciais no manejo de pragas representa um avanço importante na busca por soluções sustentáveis e ecologicamente corretas. Promover a conscientização sobre os benefícios desses compostos naturais e incentivar a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias inovadoras são passos indispensáveis para assegurar um futuro mais saudável e equilibrado para o meio ambiente e os seres vivos.

Conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse de nenhuma natureza.

Referências

- ANVISA. **Registro de Produtos Biológicos**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/agrotoxicos/registro-de-produtos-biologicos>. Acesso em: 07 jul. 2024.
- ARA, Z. G.; HAQUE, A. R. A Comprehensive Review on Synthetic Insecticides: Toxicity to Pollinators, Associated Risk to Food Security, and Management Approaches. **Journal of Biosystems Engineering**, v. 46, p. 254–272, 2021.
- BENCHAAR, C.; HRISTOV, A. N.; GREATHEAD, H. Essential oils as feed additives in ruminant nutrition. In: STEINER, T. (Ed.). **Phytogenics in Animal Nutrition, Natural Concepts to Optimize Gut Health and Performance**. Nottingham: Nottingham University Press, 2009. p. 111–146.
- BERETTA, M.; BRENNI, P. **The Arsenal of Eighteenth-Century Chemistry: The Laboratories of Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794)**. Leiden: Brill, 2022.
- BOLOURI, P.; SALAMI, R.; KOUHI, S.; KORDI, M.; ASGARI LAJAYER, B.; HADIAN, J.; ASTATKIE, T. Applications of Essential Oils and Plant Extracts in Different Industries. **Molecules**, v. 27, n. 24, e8999, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules27248999>. Acesso em 04 jul. 2024.
- BOUWMAN, H.; BORNMAN, R.; VAN DEN BERG, H.; KYLIN, H. DDT: fifty years since Silent Spring. In: **Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation**. Copenhagen: European Environment Agency, 2013. p. 272-291.
- BRAGA, N. S. M.; TENÓRIO, A. G.; SILVA, C. B. V.; OLIVEIRA, E. R.; PIRES, L. L. S.; SANTOS, A. F. Ação antibacteriana e composição fenólica do Óleo Essencial dos frutos de *Schinus terebinthifolius* Raddi frente a patógenos multirresistentes. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 5, p. 1057-1065, 2020. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/2889>. Acesso em 05 jul. 2024.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 46 de 06 de Outubro de 2011 (Produção vegetal e animal) - Regulada pela IN 17-2014**. Brasília, DF: República Federativa do Brasil, 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/legislacao/portugues/instrucao-normativa-no-46-de-06-de-outubro-de-2011-producao-vegetal-e-animal-regulada-pela-in-17-2014.pdf/view>. Acesso em: 07 jul. 2024.
- BUSVINE, J. R. **Insects and Hygiene**. 3. ed. Springer New York: Springer, 1980.
- CARSON, R. **Primavera Silenciosa**. 2. ed. São Paulo: Melhoramentos, 1962.
- CHAO, S.; YOUNG, G.; OBERG, C.; NAKAOKA, K. Inhibition of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) by essential oils. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 23, n. 6, p. 444-449, 2008.
- COTTE, M.; DE VIGUERIE, L.; CHECROUN, E.; SUSINI, J.; WALTER, P. Historical Evolutions of Lead-Fat/Oil Formula from Antiquity to Modern Times in a Set of European Pharmaceutical and Painting Treatises. In: CASADIO, F., KEUNE, K., NOBLE, P., VAN LOON, A., HENDRIKS, E., CENTENO, S. A., OSMOND, G. (Eds.). **Metal Soaps in Art, Conservation and Research**. Cham: Springer, 2019. p. 85-106.

- DEANS, S. G.; RITCHIE, G. Antibacterial properties of plant essential oils. **International Journal of Food Microbiology**, v. 5, n. 2, p. 165-180, 1987.
- DE SOUZA, R. M.; SEIBERT, D.; QUESADA, H. B.; BASSETTI, F. J.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; BERGAMASCO, R. Occurrence, impacts and general aspects of pesticides in surface water: A review. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 135, p. 22-37, 2020.
- EDDLESTON, M. Poisoning by pesticides. **Medicine**, v. 48, n. 3, p. 214-217, 2020.
- EVANS, W. C. **Trease and Evans' Pharmacognosy**. 16. ed. Londres: Saunders (Elsevier), 2009.
- FORNARI, T.; VICENTE, G.; VÁZQUEZ, E.; GARCÍA-RISCO, M. R.; REGLERO, G. Isolation of essential oil from different plants and herbs by supercritical fluid extraction. **Journal of Chromatography A**, v. 1250, p. 34-48, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.04.051>. Acesso em 02 jul. 2024.
- FRANZ, C.; NOVAK, J. Sources of Essential Oils. In: BAŞER, K. H. C.; BUCHBAUER, G. (Eds.). **Handbook of essential oils: science, technology, and applications**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2020. p. 41-83.
- GHOSH, A.; CHOWDHURY, N.; CHANDRA, G. Plant extracts as potential mosquito larvicides. **The Indian Journal of Medical Research**, v. 135, n. 5, p. 581-598, 2012.
- HASHIMI, M. H.; HASHIMI, R.; RYAN, Q. Toxic effects of pesticides on humans, plants, animals, pollinators and beneficial organisms. **Asian Plant Research Journal**, v. 5, n. 4, p. 37-47, 2020.
- HOSSAIN, L.; RAHMAN, R.; KHAN, M. S. Alternatives of Pesticides. In: KHAN, M. S.; RAHMAN, M. S. (Eds.). **Pesticide residue in foods: Sources, management, and control**. Cham: Springer, 2017.
- ISMAN, B. M. Plant essential oils for pest and disease management. **Crop Protection**, v. 19, p. 603-608, 2000.
- ISMAN, B. M. Commercial development of plant essential oils and their constituents as active ingredients in bioinsecticides. **Phytochemistry Reviews**, v. 19, p. 235-241, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11101-019-09653-9>. Acesso em 05 jul. 2024.
- JANKOWSKA, M.; ROGALSKA, J.; WYSZKOWSKA, J.; STANKIEWICZ, M. Molecular Targets for Components of Essential Oils in the Insect Nervous System-A Review. **Molecules**, v. 23, n. 1, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules23010034>. Acesso em 24 jun. 2024.
- KALYABINA, V. P.; ESIMBEKOVA, E. N.; KOPYLOVA, K. V.; KRATASYUK, V. A. Pesticides: formulants, distribution pathways and effects on human health – a review. **Toxicology Reports**, v. 8, p. 1179-1192, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.06.004>. Acesso em 05 jul. 2024.
- LI, B. A. Dichloro-diphenyl-trichloroethane (DDT): An unforgettable and powerful pesticide. **Journal of High School Science**, v. 6, n. 2, 2022.
- METCALF, R. L. Century of DDT. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 21, n. 4, p. 511-519, 1973.
- MOSSA, A. T. H. Green Pesticides: Essential Oils as Biopesticides in Insect-pest Management. **Journal of Environmental Science and Technology**, v. 9, n. 5, p. 354-378, 2016.
- NAEEM, M.; BREMONT, J. F. J.; ANSARI, A. A.; GILL, S. S (Eds.). **Agrochemicals in Soil and Environment**. Singapura: Springer, 2022.
- NEHA, K.; ALI, F.; ALI, H.; SINGH, N.; TRIVEDI, M.; SHARMA, A. K. Biopesticides Regulatory Schemes. In: NOLLET, L. M. L.; MIR S. R. (Eds.). **Biopesticides Handbook**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2024. p. 71-82.
- NORRIS, E. J.; BARTHOLOMAY, L.; COATS, J. Present and Future Outlook: The Potential of Green Chemistry in Vector Control. In: NORRIS, E. J.; COATS, J. R.; GROSS, A. D.; CLARK, J. M. (Eds.). **Advances in the Biorational Control of Medical and Veterinary Pests**. Washington: American Chemical Society, 2018. p. 43-62.
- OBEREMOK, V. V.; LAIKOVA, K. V.; GNINENKO, Y. I.; ZAITSEV, A. S.; NYADAR, P. M.; ADEYEMI, T. A. A short history of insecticides. **Journal of Plant Protection Research**, v. 55, n. 3, p. 221-226, 2015.
- SÁNCHEZ-BAYO, F. Ecological Impacts of Insecticides. In: PERVEEN, F. K. (Ed.). **Insecticides - Advances in Integrated Pest Management**. Rijeka: InTech, 2011. p. 61-90.
- REGNAULT-ROGER, C.; VINCENT, C.; ARNASON, J. T. Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. **Annual review of entomology**, v. 57, p. 405-424, 2012.

REZENDE-TEIXEIRA, P.; DUSI, R. G.; JIMENEZ, P. C.; ESPINDOLA, L. S.; COSTA-LOTUFO, L. V. What can we learn from commercial insecticides? Efficacy, toxicity, environmental impacts, and future developments. **Environmental Pollution**, v. 300, e118983, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118983>. Acesso em 05 jul. 2024.

RÍOS, J.-L. Essential Oils: What they are and how the terms are used and defined. In: PREEDY, V. R. (Ed.). **Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety**. Londres: Academic Press, 2016. p. 3-10. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2012-0-06581-7>. Acesso em: 03 jul. 2024.

RUBINO, F. M.; MANDIC-RAJCEVIC, S.; MREMA, E. J.; COLOSIO, C. Principles and Application of the Integrated Pest Management Approach. Biological Pesticides. In: SIMEONOV, L. I.; MACAEV, F. Z.; SIMEONOVA, B. G. (Eds.). **Environmental Security Assessment and Management of Obsolete Pesticides in Southeast Europe**. Dordrecht: Springer, 2013. p. 413-432.

SANGWAN, N. S.; FAROOQI, A. H. A.; SHABIH, F.; SANGWAN, R. S. Regulation of essential oil production in plants. **Plant Growth Regulation**, v. 34, p. 3-21, 2001.

SHAFEEQUE, N. A.; AHMAD, F.; KAMAL, A. Toxicity of pesticides to plants and non-target organism: a comprehensive review. **Iranian Journal of Plant Physiology**, v. 10, n. 4, p. 3299- 3313, 2020.

SPADOTTO, C. A.; GOMES, M. A. F.; LUCHINI, L. C.; ANDRÉA, M. M. **Monitoramento do risco ambiental de agrotóxicos: princípios e recomendações**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004.

SPARKS, T. C.; STORER, N.; PORTER, A.; SLATER, R.; NAUEN, R. Insecticide resistance management and industry: the origins and evolution of the Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) and the mode of action classification scheme. **Pest Management Science**, v. 77, n. 6, p. 2609-2619, 2021.

STAPLETON D. H. Lessons of history? Anti-malaria strategies of the International Health Board and the Rockefeller Foundation from the 1920s to the era of DDT. **Public Health Reports**, v. 119, n. 2, p. 206-215, 2004.

TABASSUM, N.; VIDYASAGAR, G. M. Antifungal investigations on plant essential oils: A Review. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v. 5, supl. 2, p. 19-28, 2013.

UMETSU, N.; SHIRAI, Y. Development of novel pesticides in the 21st century. **Journal of Pesticide Science**, v. 45, n. 2, p. 54-74, 2020.

URDANG, T. The origin and development of the essential oil industry. In: GUENTHER, E. **The Essential Oils - History - Origin in Plants - Production - Analysis, Vol. 1**. Southport: Jepson Press, 2008.

VANDYK, J. S.; PLETSCHEKE, B. Review on the use of enzymes for the detection of organochlorine, organophosphate and carbamate pesticides in the environment. **Chemosphere**, v. 82, n. 3, p. 291-307, 2011.

VENÂNCIO, A. H.; BALDUINO, B. A.; SILVA, M. A.; GONÇALVES, M. C.; OLIVEIRA, C. D.; CARAPIÁ, M. S.; PICCOLI, R. H. Biossíntese de óleos essenciais: uma mini revisão. In: AGRON SCIENCE. **Pesquisas e avanços em química dos produtos naturais**. Jardim do Seridó: Agron Science, 2023. p.56-63. Disponível em: <https://doi.org/10.53934/9786599965814>. Acesso em: 01 jul. 2024.

VERGIS, J.; GOKULAKRISHNAN, P.; AGARWAL, R. K.; KUMAR A. Essential Oils as Natural Food Antimicrobial Agents: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, n. 10, p. 1320-1323, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.692127>. Acesso em 24 jun. 2024.

YANG, R. Z.; TANG, C. S. Plants used for pest control in China: A literature review. **Economic Botany**, v. 42, p. 376-406, 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02860162>. Acesso em 24 jun. 2024.

ZALLER, J. G.; KRUSE-PLAß, M.; SCHLECHTRIEMEN, U.; GRUBER, E.; PEER, M.; NADEEM, I.; FORMAYER, H. F.; HUTTER, H.- P.; LANDLER, L. Pesticides in ambient air, influenced by surrounding land use and weather, pose a potential threat to biodiversity and humans. **Science of the Total Environment**, v. 838, e156012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156012>. Acesso em 05 jul. 2024.