



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO TRÊS RIOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO MEIO AMBIENTE - DCMA**

**PLANTAS COM POTENCIAL PARA A PRODUÇÃO DE
BIOINSETICIDAS**

Hévora Suian de Sousa Oliveira

ORIENTADOR: Prof. Dr. Fábio Souto de Almeida

**TRÊS RIOS - RJ
DEZEMBRO – 2025**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO TRÊS RIOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO MEIO AMBIENTE - DCMA**

**PLANTAS COM POTENCIAL PARA A PRODUÇÃO DE
BIOINSETICIDAS**

Hévora Suian de Sousa Oliveira

Monografia apresentada ao curso de Gestão Ambiental, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental da UFRRJ, Instituto Três Rios da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**TRÊS RIOS - RJ
DEZEMBRO – 2025**

Oliveira, Hévora Suian de Sousa, 2025-

Plantas com potencial para a produção de bioinseticidas / Hévora Suian de Sousa Oliveira. – Três Rios, RJ, 2025.

64 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Souto de Almeida.

Monografia (Graduação em Gestão Ambiental) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto Três Rios.

Bibliografia: f. 52-56.

1. Bioinseticidas - Teses. 2. Extratos vegetais - Teses. 3. Manejo integrado de pragas - Teses. I. Almeida, Fábio Souto de. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto Três Rios. III.

Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO TRÊS RIOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO MEIO AMBIENTE - DCMA

PLANTAS COM POTENCIAL PARA A PRODUÇÃO DE BIOINSETICIDAS

Hévorá Suian de Sousa Oliveira

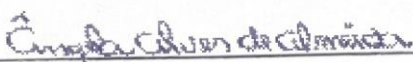
Monografia apresentada ao Curso de Gestão Ambiental como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto Três Rios da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Aprovada em 02/12/2025

Banca examinadora:



Prof. Orientador Dr. Fábio Souto de Almeida



Profa. Dra. Ângela Alves de Almeida



Profa. Dra. Fabíola de Sampaio Rodrigues Grazinoli Garrido

TRÊS RIOS - RJ
DEZEMBRO - 2025

Dedico este trabalho à minha família, pela base, pelo amor e pelo apoio incondicional em cada etapa da minha jornada.

AGRADECIMENTO

Este trabalho é o resultado de um longo caminho, e eu não o percorri sozinha. Por isso, de todo o coração, agradeço.

A Deus, por me guiar, iluminar e dar forças em cada passo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fábio Souto. Mais do que um mestre, você foi um mentor. Agradeço por cada conselho, por me desafiar a ser melhor e por nunca me deixar desistir. Sua confiança no meu potencial foi meu maior combustível.

À minha família, meu porto seguro e minha base para tudo. À minha mãe, Maria José, agradeço por sua fé inabalável em mim, por seu amor incondicional e por ser a personificação da força e meu maior exemplo de mulher. Ao meu pai, Orlando Baião, meu grande alicerce e porto seguro, agradeço por todo o seu incentivo, por me ensinar a ter disciplina, por ser meu exemplo de honestidade e trabalho, e pelo apoio silencioso que sempre me deu segurança para continuar. A vocês dois juntos, minha eterna gratidão por sempre acreditarem nos meus sonhos e por serem minha maior inspiração.

À minha irmã, cúmplice e melhor amiga, Rayssa Muller. Não há palavras para agradecer por tanto. Obrigada por ser a melhor ouvinte para as minhas frustrações, por me lembrar de respirar fundo e, claro, pelas boas risadas que sempre souberam aliviar a tensão nos momentos mais difíceis. Seu apoio incondicional e sua leveza foram essenciais.

Ao meu namorado e grande companheiro, Lucas Silveira. Obrigada por ser minha fortaleza nos dias de cansaço e minha calma nos momentos de ansiedade. Você acreditou neste sonho junto comigo, e sua paciência, seu amor e seu apoio incondicional foram meu refúgio seguro. Esta conquista tem um pedaço enorme de você.

Aos meus avós, Maria e Geraldo das Neves, pelo carinho e pelas orações que sempre me fortaleceram. E uma menção especial aos meus avós do céu, Rita e Pedro Baião, que foram meus verdadeiros anjos da guarda em cada etapa desta jornada. Esta conquista também é para honrar a memória de vocês.

Aos meus amigos, irmãos que a vida me deu. Hanna Souza, Emilly Antunes, Lucas Mendes e Jefferson Carvalho, obrigada por estarem comigo desde o início, tornando a caminhada mais leve com risadas, apoio e momentos inesquecíveis.

Encerro esta etapa com a certeza de que ninguém constrói nada sozinho. A jornada foi feita de grandes desafios, mas também de pequenos milagres, como um ombro amigo, um café compartilhado ou um simples "vai dar certo". A cada pessoa que cruzou meu caminho com uma palavra de incentivo, esta vitória também pertence a vocês. Minha eterna e mais profunda gratidão.

"Se você realmente ama a natureza, encontrará beleza em todos os lugares."

(Vincent van Gogh)

"A vida é uma escalada, mas a vista é ótima."

(Miley Cyrus, 2009)

RESUMO

O modelo agrícola convencional, baseado no uso intensivo de agroquímicos, tem provocado sérios impactos ambientais, incluindo sociais, especialmente em países com expressiva produção agropecuária como o Brasil. Os resíduos dessas substâncias contaminam os solos, os corpos d'água, a biodiversidade e os alimentos consumidos pela população, afetando a saúde pública. O uso indiscriminado de inseticidas químicos sintéticos favorece o surgimento de pragas resistentes, reduz a presença de inimigos naturais nas lavouras e compromete o equilíbrio dos agroecossistemas. Por esses motivos, cresce o interesse por alternativas ecologicamente corretas para o manejo e controle de pragas. Neste sentido, destacam-se as plantas com substâncias do metabolismo secundário que são danosas aos insetos. Esses compostos podem ser utilizados sob a forma de extratos e de óleos essenciais, por exemplo. O objetivo deste trabalho foi realizar o levantamento de espécies de plantas com potencial para a produção de bioinseticidas úteis contra insetos-praga e realizar uma análise crítica sobre o uso destas plantas no manejo desses insetos. Foi realizada uma revisão bibliográfica, que abrangeu estudos publicados entre 2000 e 2025, para realizar o levantamento de espécies de plantas com potencial para a produção de bioinseticidas, também sendo coletadas informações sobre a eficácia dos compostos naturais, mecanismo de ação e insetos alvo destes compostos. Além disso, foi verificado se as espécies de plantas avaliadas são nativas ou exóticas do Brasil. Foram identificadas 44 espécies com potencial para a produção de bioinseticidas. Os resultados indicam que, apesar do grande potencial da flora brasileira, 77,3% das espécies levantadas neste estudo são exóticas, como *Azadirachta indica* A. Juss (nim) e *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle (citronela), cujos extratos e óleos essenciais demonstram alta bioatividade. Entre as espécies nativas, destacam-se *Carapa guianensis* Aubl. (andiroba) e *Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants (mastruz), que apresentam resultados promissores em estudos laboratoriais e de campo, embora ainda necessitem de maior investigação. Conclui-se que as plantas com potencial inseticida representam uma alternativa promissora para uma agricultura mais sustentável, com menores impactos socioambientais. É fundamental incentivar pesquisas com espécies nativas, visando identificar novas plantas com potencial para produção de bioinseticidas, e também a padronização dos extratos, visando consolidar a sua utilização em sistemas agroecológicos e potencializar o seu uso na agricultura convencional.

Palavras-chave: compostos bioativos; controle agroecológico; extratos vegetais; inseticidas naturais; manejo sustentável.

ABSTRACT

The conventional agricultural model, based on the intensive use of agrochemicals, has caused serious environmental impacts, including social impacts, especially in countries with significant agricultural production such as Brazil. Residues from these substances contaminate soils, water bodies, biodiversity, and food consumed by the population, affecting public health. The indiscriminate use of synthetic chemical insecticides favors the emergence of resistant pests, reduces the presence of natural enemies in crops, and compromises the balance of agroecosystems. For these reasons, there is a growing interest in ecologically sound alternatives for pest management and control. In this sense, plants with secondary metabolites that are harmful to insects stand out. These compounds can be used in the form of extracts and essential oils, for example. The objective of this work was to survey plant species with potential for the production of bioinsecticides useful against insect pests and to conduct a critical analysis of the use of these plants in the management of these insects. A literature review was conducted, encompassing studies published between 2000 and 2025, to identify plant species with potential for bioinsecticide production. Information was also collected efficacy of natural compounds, mechanism of action, and target insects of these compounds. Furthermore, it was verified whether the evaluated plant species were native or exotic to Brazil. Forty-four species with potential for bioinsecticide production were identified. The results indicate that, despite the great potential of the Brazilian flora, 77.3% of the species identified in this study are exotic, such as *Azadirachta indica* A. Juss (neem) and *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle (citronella), whose extracts and essential oils demonstrate high bioactivity. Among the native species, *Carapa guianensis* Aubl. (andiroba) and *Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants (mastruz), which show promising results in laboratory and field studies, although further investigation is still needed. It is concluded that plants with insecticidal potential represent a promising alternative for more sustainable agriculture with lower socio-environmental impacts. It is essential to encourage research with native species, aiming to identify new plants with potential for bioinsecticide production, and also the standardization of extracts, aiming to consolidate their use in agroecological systems and enhance their use in conventional agriculture.

Keywords: agroecological control; bioactive compounds; natural insecticides; plant extracts; sustainable pest management.

LISTA DE ABREVIações E SÍMBOLOS

ANVISA: Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CAPES: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

DCMA: Departamento de Ciências do Meio Ambiente

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPA: Agência de Proteção Ambiental (Environmental Protection Agency)

FIFRA: Lei Federal de Inseticidas, Fungicidas e Rodenticidas (Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act)

FINEP: Financiadora de Estudos e Projetos

HPLC: Cromatografia Líquida de Alta Eficiência

IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IRG: Reguladores de Crescimento de Insetos

MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MIP: Manejo Integrado de Pragas

OE: Óleos Essenciais

PAA: Programa de Aquisição de Alimentos

PNAE: Programa Nacional de Alimentação Escolar

PRISMA: Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

PRONAF: Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar

RENISUS: Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS

UFRRJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

USP: Universidade de São Paulo

UFV: Universidade Federal de Viçosa

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Porcentagem de espécies de plantas estudadas para avaliar o potencial para produção de bioinseticidas nativas do território brasileiro ou exóticas	25
---	----

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1.** Espécies de plantas estudadas para avaliar o potencial para a produção de bioinseticidas, nome popular, família botânica e origem (nativa ou exótica do território brasileiro) 22
- Quadro 2.** Espécies de plantas estudadas para avaliar o potencial para a produção de bioinseticidas, provável composto ativo, mecanismo de ação, possíveis efeitos e insetos afetados 26
- Quadro 3.** Comparativo entre bioinseticidas vegetais e agrotóxicos sintéticos 34

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO GERAL	17
1.1.1 Objetivos Específicos	18
2. MATERIAL E MÉTODOS	18
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
5. REFERÊNCIAS	43

1. INTRODUÇÃO

O controle de pragas de plantas cultivadas com produtos químicos sintéticos, embora geralmente gere efeitos imediatos no que tange à redução das populações de pragas, está diretamente relacionado ao desenvolvimento de populações de insetos resistentes, à poluição do solo e dos cursos d'água, à redução de populações de organismos não-alvo e tem potencial para diminuir a riqueza de espécies associadas às áreas cultivadas e nos seus arredores (Estrada et al. 2019, Marchiori & Almeida 2020, Silva et al. 2019, Moura et al. 2021). A agricultura mundial enfrenta um dilema decorrente do uso intensivo de compostos sintéticos e do consequente surgimento de problemas ambientais, além da crescente pressão social e regulatória por práticas agrícolas ambientalmente responsáveis (Belchior et al. 2017, Figueiredo et al. 2023).

Os impactos sobre a saúde pública são amplamente documentados: entre 2007 e 2017, mais de 40 mil casos de intoxicação por agrotóxicos foram registrados no Brasil, resultando em aproximadamente 1.800 óbitos, afetando majoritariamente populações vulneráveis, como trabalhadores rurais, crianças e gestantes (Peres et al. 2019, Fundação Heinrich Böll 2021). Os custos socioeconômicos são expressivos, pois estima-se que para cada dólar gasto com agrotóxicos, até dois dólares de custos indiretos são gerados, como gastos com saúde pública, perda de produtividade agrícola e degradação ambiental (Pignati et al. 2017, Carneiro et al. 2015).

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO 2021), o Brasil tornou-se o maior consumidor mundial desses insumos, com um consumo anual estimado em 720 mil toneladas, superando países como China e Estados Unidos. Esse panorama é preocupante, especialmente considerando que entre 2003 e 2021 o uso de agrotóxicos no país aumentou cerca de 390%, enquanto a expansão da área cultivada não acompanhou proporcionalmente esse avanço (Paz et al. 2023). O modelo agrícola predominante no Brasil, fortemente baseado no agronegócio exportador e em monoculturas implantadas em grandes áreas, favorece o uso de insumos sintéticos como a principal estratégia de controle fitossanitário e se mostra em desacordo com o ideal de sustentabilidade (Altieri & Nicholls 2012, Chelotti 2025). No entanto, esse modelo de produção agrícola provoca sérios impactos adversos, sendo necessário pesquisar e implementar alternativas ambientalmente corretas para a produção agrícola (Peres et al. 2019, Fundação Heinrich Böll 2021).

Nesse contexto, os bioinseticidas de origem vegetal têm se consolidado como alternativas viáveis e sustentáveis no manejo de pragas (Shimada et al. 2021, Costa et al. 2024). Bioinseticidas são óleos, soluções líquidas, preparações em pó, dentre outras, produzidos com base em fontes naturais e que podem ser usados para o manejo de insetos, existindo bioinseticidas de origem

vegetal obtidos a partir de cascas, flores, folhas, raízes ou sementes (Souza 2019). Essas substâncias naturais apresentam características desejáveis, como rápida degradação no ambiente, menor toxicidade a mamíferos e outros organismos não-alvo, e compatibilidade com os princípios do Manejo Integrado de Pragas (MIP) (Torres et al. 2001). O Brasil, detentor da maior diversidade vegetal do planeta, constitui um território estratégico para a prospecção e o aproveitamento de compostos bioativos a partir de metabólitos secundários, como terpenóides, alcalóides, flavonóides e saponinas, que conferem às plantas sua capacidade natural de defesa contra herbívoros e patógenos (Spletzer et al. 2021, Ribeiro et al. 2024). A compreensão e o aproveitamento dessas substâncias representam um passo essencial para a transição rumo a sistemas agrícolas mais equilibrados, resilientes e alinhados aos objetivos do desenvolvimento sustentável (Siqueira et al. 2023).

Assim, o uso de compostos naturais derivados de plantas tem se mostrado uma alternativa promissora, pois reduz os riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Diversas espécies vegetais produzem compostos bioativos capazes de interferir nos processos fisiológicos dos insetos, dificultando a sua alimentação, reprodução ou desenvolvimento (Scalon et al. 2021, Spletzer 2021). Esses compostos podem ser aplicados de diversas formas, incluindo extratos aquosos, etanólicos, óleos essenciais, pós secos, infusões ou ainda por meio do cultivo consorciado com culturas de interesse agrônomico (Vendramim & Guzzo 2009, Morais et al. 2012). Tais práticas estão em consonância com os princípios do MIP e da agroecologia, contribuindo para a redução do uso de insumos sintéticos e para a proteção dos agroecossistemas (Machado et al. 2007).

Bioinseticidas vegetais têm demonstrado vantagens econômicas e ecológicas em relação aos sintéticos. Estudos de caso em assentamentos agroecológicos apontam reduções de até 70% nos custos com insumos e menor incidência de intoxicações humanas (Santos et al. 2018). Além disso, sua produção pode ser realizada de forma artesanal e comunitária, fortalecendo a agricultura familiar, os saberes tradicionais e a soberania alimentar (Barbosa et al. 2006).

Embora o Brasil tenha sido um dos principais produtores de inseticidas botânicos, como piretróides, rotenona e nicotina, essas práticas foram substituídas por produtos sintéticos (Pinheiro & Costa 1995). No entanto, diante da crescente demanda por tecnologias agrícolas mais seguras e sustentáveis, tais alternativas voltam a ganhar destaque (Corrêa & Salgado 2011).

A biodiversidade vegetal brasileira representa uma oportunidade estratégica para o avanço de tecnologias baseadas no uso de bioinsumos, especialmente considerando que o país abriga cerca de 20% das espécies vegetais do mundo, porém pequena parcela desta biodiversidade foi avaliada para fins de criação de biotecnologias (Brasil 2020). Apesar disso, observa-se que as espécies atualmente mais utilizadas como fitoinseticidas, como o nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) e o

cravo-da-índia - *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & LM Perry, são em grande parte exóticas ou ainda pouco estudadas quanto à sua eficácia frente às pragas das diferentes espécies cultivadas em território brasileiro (Santos & Oliveira 2020, Alves et al. 2022). A ausência de sistematização do conhecimento sobre as plantas com potencial inseticida limita a sua popularização entre agricultores, especialmente na agricultura convencional, extensionistas e pesquisadores.

Insetos são componentes essenciais dos ecossistemas, exercendo funções ecológicas importantes (Triplehorn & Johnson 2011). No entanto, algumas espécies, ao se proliferarem em áreas cultivadas, tornam-se pragas agrícolas, causando prejuízos econômicos e perdas de produtividade (Gallo et al. 2002). Esses insetos se alimentam de folhas, frutos, sementes, ramos e raízes ou atuam como vetores de patógenos, comprometendo a qualidade e a produtividade (Gallo et al. 2002). Os impactos negativos não se limitam à perda direta da produção, eles também afetam o comércio nacional e internacional, aumentam o uso de inseticidas e, conseqüentemente, os gastos com insumos agrícolas, afetando o preço dos alimentos (Cepea 2019).

Além de seu valor ambiental e social, o uso de bioinseticidas tem ganhado relevância econômica. Segundo a consultoria (Grand View Research 2023), o mercado global de bioinseticidas foi estimado em US\$4,3 bilhões em 2022, com projeção de atingir US\$10,2 bilhões até 2030, a uma taxa de crescimento anual de 13%. Esse cenário revela uma tendência global em direção a tecnologias agrícolas mais sustentáveis e menos dependentes de insumos sintéticos. Mapear e compreender as espécies vegetais com potencial inseticida contribui para a conservação da biodiversidade, a soberania agrícola e o uso sustentável dos recursos naturais, além de fomentar políticas públicas e práticas agrícolas alinhadas aos princípios da sustentabilidade.

Diante desse panorama, a presente pesquisa apresenta espécies de plantas nativas ou exóticas com potencial para a produção de bioinseticidas, espécies de insetos que podem ter o tamanho de suas populações reduzidas com o uso de bioinseticidas e os compostos com propriedades inseticidas presentes nas plantas. Além disso, foi realizada uma análise crítica do potencial e dos entraves para a ampliação da utilização destes produtos biotecnológicos.

1.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o levantamento de espécies de plantas com potencial para a produção de bioinseticidas e realizar uma análise crítica sobre o uso destas plantas no manejo de insetos-praga, especialmente insetos danosos à plantas cultivadas, através de revisão bibliográfica.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Identificar plantas com potencial para a produção de bioinseticidas;
- Apontar espécies de insetos-praga que podem ser controlados com estas espécies vegetais;
- Verificar se estas plantas são nativas do Brasil ou exóticas;
- Compreender os principais compostos responsáveis pela ação inseticida;
- Discutir os desafios e potencialidades do uso dessas plantas em práticas agrícolas sustentáveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa, de natureza básica e abordagem descritiva, fundamentada em revisão bibliográfica. O objetivo foi reunir, organizar e analisar criticamente a produção científica disponível acerca de espécies vegetais com potencial inseticida para emprego no controle de pragas, especialmente insetos que causam danos a plantas cultivadas.

A coleta de dados foi realizada entre os meses de abril e outubro de 2025, por meio das bases de dados: SciELO, Google Acadêmico, PubMed e do Portal de Periódicos da CAPES. Também foram consultados livros, dissertações e teses disponíveis em repositórios acadêmicos nacionais e internacionais. Além disso, informações foram obtidas de publicações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e de *websites* institucionais.

As palavras-chave utilizadas incluíram: plantas inseticidas, bioinseticidas, controle biológico de pragas, extratos vegetais, agroecologia e manejo integrado de pragas. Os termos foram combinados com o uso de operadores booleanos (AND, OR) para ampliar os resultados e refinar a busca, uma prática comum e recomendada na metodologia de trabalhos de revisão para garantir a precisão da coleta de dados, conforme apontado por outros autores (Pádua 2019, Sampieri 2013).

Os critérios adotados para a inclusão das referências foram: publicações científicas publicadas entre 2000 e 2025, com ênfase nos trabalhos dos últimos 10 anos; trabalhos que abordassem o uso de plantas com ação inseticida ou repelente, especialmente no contexto agrícola ou no cultivo de árvores; pesquisas com dados empíricos (pesquisas laboratoriais ou de campo), bem como revisões sistemáticas com fundamentação teórica consistente.

Por outro lado, os critérios de exclusão compreenderam: trabalhos com foco exclusivo em pesticidas sintéticos; estudos publicados antes de 2000; estudos duplicados na base de dados;

publicações sobre pesquisas laboratoriais ou de campo sem informações mínimas sobre a metodologia utilizada.

O conteúdo dos artigos selecionados foi fichado e categorizado com base nos seguintes eixos temáticos: espécies vegetais estudadas; compostos bioativos identificados; mecanismos de ação sobre os insetos; formas de preparo e aplicação dos extratos; resultados de eficácia; insetos avaliados no estudo da eficácia.

Essa abordagem permitiu uma análise sistemática e crítica do material selecionado, possibilitando a identificação de lacunas no conhecimento, dos avanços recentes na área e das potencialidades de uso sustentável dessas espécies vegetais no contexto da agricultura e silvicultura brasileira. A verificação dos nomes científicos válidos atualmente para as espécies de plantas que constam neste estudo foi realizada a partir do *website* WFO Plant List (2025).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da bibliografia consultada foi possível realizar o levantamento de 44 espécies de plantas estudadas em relação ao potencial para a produção de bioinseticidas visando o controle de insetos praga (Quadro 1). O gênero *Citrus* apresentou três espécies e os gêneros *Allium*, *Azadirachta*, *Brassica* e *Deguelia* foram representados por duas espécies, cada. É relevante mencionar que este trabalho não teve como objetivo esgotar o assunto, mas apenas gerar resultados que possibilitem discutir o tema e chegar a conclusões relevantes sobre o uso de plantas para produção de bioinseticidas. Assim, outras espécies e gêneros de plantas podem ter sido estudados para o manejo de insetos praga.

Quadro 1. Espécies de plantas estudadas para avaliar o potencial para a produção de bioinseticidas, nome popular, família botânica e origem (nativa ou exótica do território brasileiro).

Nome científico	Nome popular	Família botânica	Origem
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Erva-de-são-joão, Mentraso	Asteraceae	Nativa
<i>Allium scorodoprasum</i> L.	Alho-silvestre	Amaryllidaceae	Exótica

<i>Allium sativum</i> L.	Alho	Amaryllidaceae	Exótica
<i>Anethum graveolens</i> L.	Endro	Apiaceae	Exótica
<i>Armoracia rusticana</i> G.Gaertn., B.Mey. & Scherb. (sinonímia <i>Cochlearia armoracia</i>)	Rábano, raiz-forte, rabanete	Brassicaceae	Exótica
<i>Azadirachta excelsa</i> (Jack) M.Jacobs	Nim, neem, nim- brasileiro	Meliaceae	Exótica
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	Nim, neem	Meliaceae	Exótica
<i>Brassica juncea</i> (L.) Czern.	Mostarda	Brassicaceae	Exótica
<i>Brassica napus</i> L.	Canola	Brassicaceae	Exótica
<i>Callistemon lanceolatus</i> Sweet	Escova-de-garrafa	Myrtaceae	Exótica
<i>Capsicum frutescens</i> L.	Pimenta-malagueta	Solanaceae	Nativa
<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Andiroba	Meliaceae	Nativa
<i>Cinnamomum cassia</i> Nees ex Blume	Canela	Lauraceae	Exótica
<i>Citrus x aurantium</i> (sinonímia <i>Citrus</i> <i>aurantium</i> e <i>Citrus</i> <i>sinensis</i> (L.) Osbeck)	Laranjeira, laranja- amarga, laranja-da- terra	Rutaceae	Exótica

<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	Limoeiro, limão-siciliano	Rutaceae	Exótica
<i>Citrus reticulata</i> Blanco	Tangerineira	Rutaceae	Exótica
<i>Cymbopogon nardus</i> (L.) Rendle	Citronela	Poaceae	Exótica
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Tiririca	Cyperaceae	Exótica
<i>Deguelia amazonica</i> Killip (sinónimia <i>Derris amazonica</i>)	'Timbó	Fabaceae	Nativa
<i>Deguelia nitidula</i> (Benth.) A.M.G.Azevedo & R.A.Camargo (sinónimia <i>Lonchocarpus floribundus</i>)	Timbó	Fabaceae	Nativa
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Eucalipto	Myrtaceae	Exótica
<i>Eucalyptus grandis</i> W.Hill ex Maiden	Eucalipto	Myrtaceae	Exótica
<i>Eugenia uniflora</i> L.	Pitangueira	Myrtaceae	Nativa
<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	Funcho	Apiaceae	Exótica
<i>Glycine max</i> (L.) Merr.	Soja	Fabaceae	Exótica
<i>Helianthus annuus</i> L.	Girassol	Asteraceae	Exótica
<i>Illicium verum</i> Hook.f.	Anis-estrelado	Schisandraceae	Exótica

<i>Lippia alba</i> (Mill.) N.E.Br. ex Britton & P.Wilson	Falsa-melissa, erva- cidreira	Verbenaceae	Nativa
<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Mandioca	Euphorbiaceae	Nativa
<i>Melia azedarach</i> L.	Cinamomo	Meliaceae	Exótica
<i>Moringa oleifera</i> Lam.	Moringa	Moringaceae	Exótica
<i>Nicotiana tabacum</i> L.	Tabaco	Solanaceae	Nativa
<i>Ocimum basilicum</i> L.	Manjeriço	Lamiaceae	Exótica
<i>Origanum vulgare</i> L.	Orégano	Lamiaceae	Exótica
<i>Piper nigrum</i> L.	Pimenta-do-reino	Piperaceae	Exótica
<i>Quillaja saponaria</i> Molina	Quilaia, árvore-do- sabão	Quillajaceae	Exótica
<i>Ricinus communis</i> L.	Mamona	Euphorbiaceae	Exótica
<i>Ruta graveolens</i> L.	Arruda	Rutaceae	Exótica
<i>Schinus molle</i> L.	Aroeira-pimenteira	Anacardiaceae	Nativa
<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	jamelão, jabolão	Myrtaceae	Exótica
<i>Syzygium aromaticum</i> (L.) Merr. & L.M.Perry	Cravo-da-índia	Myrtaceae	Exótica

<i>Tanacetum cinerariifolium</i> Sch.Bip. (sinonímia <i>Chrysanthemum cinerariifolium</i>)	Piretro	Asteraceae	Exótica
<i>Thymus vulgaris</i> L.	Tomilho	Lamiaceae	Exótica
<i>Zea mays</i> L.	Milho	Poaceae	Exótica

Referências: Mazzonetto & Vendramim (2003), Isman (2006), Astolfi et al. (2007), Barbosa et al. (2006), Gonzaga et al. (2007), Dequech et al. (2008), Alecio et al. (2010), Picanço (2010), Corrêa & Salgado (2011), Shukla et al. (2011), Regnault-Roger et al. (2012), Jung et al. (2013), Alécio et al. (2014), Ataide et al. (2019), Boaventura et al. (2002), Silva (2019), Albiero et al. (2020), Machado et al. (2020), Mordue(Luntz) & Nisbet (2000), Oliveira et al. (2022), Lima & Silva (2023), Maulidya et al. (2023), Ferreira (2024), Welbert et al. (2024).

A diversidade botânica representa uma das maiores fontes de compostos com potencial inseticida e diversas famílias vegetais produzem metabólitos secundários com comprovada atividade contra insetos-praga, incluindo Asteraceae, Meliaceae, Piperaceae e Rutaceae (Isman, 2006; Corrêa & Salgado 2011, Regnault-Roger et al. 2012). As espécies de plantas observadas no presente estudo estão distribuídas em 20 gêneros, com Myrtaceae se destacando com seis espécies (13,6% do total). As famílias Rutaceae e Meliaceae apresentaram, cada uma, quatro espécies. Foram representadas por três espécies as famílias Asteraceae, Brassicaceae, Fabaceae e Lamiaceae.

Em relação à origem geográfica das espécies, foram 34 espécies exóticas e somente 10 nativas do Brasil. Assim, constatou-se que a expressiva maioria das espécies obtidas neste levantamento, para fins de obtenção de inseticidas botânicos, são exóticas do território brasileiro (Figura 1). Nota-se que muitas das espécies assinaladas no Quadro 1 são plantas cultivadas há longa data e relativamente bem conhecidas por boa parte da população. Diversas espécies cultivadas no Brasil para produção de alimentos e matéria-prima, além do uso na arborização urbana e no paisagismo, são exóticas (Rufino et al. 2019, IBGE 2025). Isto está atrelado aos colonizadores, principalmente europeus, terem trazido para o país espécies que seus antepassados cultivavam nos países de origem. Além disso, uma explicação para a predominância de espécies vegetais exóticas é o foco das pesquisas em plantas reconhecidamente úteis no controle de insetos,

com espécies como *A. indica* (nim) e *S. aromaticum* (cravo-da-índia) que são exóticas. O foco das pesquisas nestas espécies facilita o desenvolvimento de bioinseticidas que sejam efetivos e o posterior patenteamento e comercialização do produto.

O Brasil é megadiverso, apresentando uma das maiores riquezas de espécies vegetais do globo (Pesquisa FAPESP 2016), e esta diversidade confere ao país um grande potencial para o desenvolvimento de bioinseticidas. A imensa flora brasileira representa uma oportunidade estratégica ainda subaproveitada. É necessário aumentar o conhecimento sobre a biodiversidade vegetal nativa do Brasil e realizar a prospecção de plantas do território brasileiro que possam produzir metabólitos secundários com utilidade no controle de insetos-praga. Assim, é necessário criar políticas públicas que possam ampliar o conhecimento sobre a vegetação nativa e incentivar o melhor uso da biodiversidade brasileira. Neste sentido, ampliar o investimento em pesquisas científicas com este fim é essencial.

Esse cenário aponta para uma lacuna de investimento em bioprospecção da flora nacional. Portanto, a utilização de espécies nativas representa uma estratégia importante para reduzir a dependência de espécies exóticas e insumos importados, além de valorizar a biodiversidade brasileira como um ativo para o desenvolvimento de tecnologias agrícolas sustentáveis e adaptadas à realidade nacional.

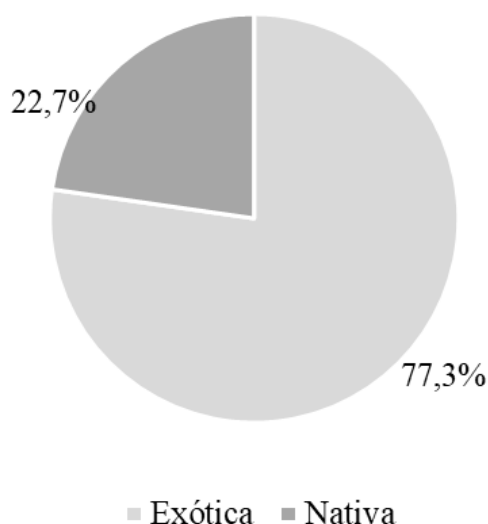


Figura 1. Porcentagem de espécies de plantas estudadas para avaliar o potencial para produção de bioinseticidas nativas do território brasileiro ou exóticas.

Destaca-se que os óleos, as formulações em pó e os extratos preparados a partir das espécies vegetais podem ser utilizados contra insetos praga em áreas cultivadas, mas também em

produtos armazenados (Mazzonetto & Vendramim 2003, Silva 2019, Albiero et al. 2020). Além de poderem ser utilizados contra vetores de doenças de seres humanos em diversas outras condições (Carvalho et al. 2012). Assim, os bioinseticidas podem ser usados com variados propósitos e em diferentes condições, inclusive por apresentarem geralmente pequeno perigo à saúde humana. Ainda assim, a sua utilização deve ser realizada com os devidos cuidados.

Também cabe ressaltar que o fato de várias espécies vegetais amplamente cultivadas gerarem metabólitos secundários úteis no combate a insetos praga pode viabilizar financeiramente a produção de bioinseticidas, tendo em vista que partes nos vegetais que não são geralmente aproveitadas podem ser utilizadas para a produção dos inseticidas (Astolfi et al. 2007). Isto é verdade inclusive por várias partes dos vegetais poderem ser utilizadas na preparação dos bioinseticidas (Mazzonetto & Vendramim 2003).

Foi possível observar que vários compostos do metabolismo vegetal podem ter efeito sobre os insetos, incluindo Alicina, Azadiractina, Citronelal, D-limoneno, Isotiocianatos, Ricina e Rotenona (Quadro 2). Tais compostos podem, por exemplo, afetar hormônios, causar inibição enzimática, interferir na alimentação, causar danos no tegumento, com efeitos sobre o desenvolvimento e crescimento dos insetos, reduzir a reprodução, repelir indivíduos e aumentar a taxa de mortalidade. As pesquisas demonstram ainda que elevada diversidade de insetos são afetados pelos bioinseticidas botânicos, com os estudos geralmente sendo voltados para testar os efeitos sobre espécies-praga de importância econômica ou danosas para a saúde pública.

Quadro 2. Espécies de plantas estudadas para avaliar o potencial para a produção de bioinseticidas, prováveis compostos ativos e modos de ação, possíveis efeitos e insetos afetados.

Nome científico	Provável composto bioativo	Modo de ação e possíveis efeitos nos insetos	Insetos afetados
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Precocenos	Antagonista do hormônio juvenil, redução da alimentação, esterilidade e aumento da taxa de mortalidade	Lepidoptera; Hemiptera (percevejos); Coleoptera
<i>Allium scorodoprasum</i> L.	Alicina	Age por inibição enzimática e possui ação fumigante e repelente, levando à redução da	Coleoptera (carunchos)

		alimentação, mortalidade e repelência de adultos	
<i>Allium sativum</i> L.	Alicina	Promove a inibição da enzima acetilcolinesterase e possui ação repelente, resultando na redução da alimentação e na mortalidade	Hemiptera (pulgões mosca-branca), Thysanoptera (tripes)
<i>Anethum graveolens</i> L.	dilapiol, a carvona e o limoneno	Apresenta neurotoxicidade por contato e fumigação, causando o aumento da taxa de mortalidade	Coleoptera
<i>Armoracia rusticana</i> G.Gaertn., B.Mey. & Scherb. (sinonímia <i>Cochlearia armoracia</i>)	Compostos sulfurados	Age rompendo as membranas celulares e por ação fumigante tóxica, o que resulta em alta mortalidade e repelência	Coleoptera; Lepidoptera
<i>Azadirachta excelsa</i> (Jack) M.Jacobs	Azadiractina, salanina e o meliantriol	Interfere na alimentação, crescimento, desenvolvimento e reprodução, causando a redução dessas atividades, ecdises irregulares e o aumento da taxa de mortalidade	Diptera; Hemiptera (pulgões). Lepidoptera
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	Azadiractina, nimbina	Interfere nos processos de alimentação, crescimento, desenvolvimento e reprodução, causando a redução dessas atividades, ecdises irregulares e o	Coleoptera; Hemiptera (cochonilha, pulgões, mosca-branca); Lepidoptera

		aumento da taxa de mortalidade	
<i>Brassica juncea</i> (L.) Czern.	Isotiocianatos	Inibe processos metabólicos, repelência e mortalidade de larvas e adultos	Coleoptera
<i>Brassica napus</i> L.	Isotiocianatos	Inibe processos metabólicos, resultando em repelência e mortalidade de larvas e adultos	Coleoptera; Hemiptera (cochonilha)
<i>Callistemon lanceolatus</i> Sweet	1,8-cineol (eucaliptol), α -pineno	Apresenta neurotoxicidade e ação por contato, o que leva ao aumento da taxa de mortalidade	Coleoptera
<i>Capsicum frutescens</i> L.	Capsaicina	Neurotoxicidade, atuando como repelente e provocando mortalidade	Coleoptera; Lepidoptera; Thysanoptera (tripes)
<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Limonóides	Interfere no crescimento e atua como repelente, causando a redução da oviposição e da alimentação	Lepidoptera; Coleoptera
<i>Cinnamomum cassia</i> Nees ex Blume	Cinamaldeído	Possui ação neurotóxica, o que resulta em alta mortalidade de larvas e adultos, além de repelência	Coleoptera

<p><i>Citrus x aurantium</i> (sinonímia <i>Citrus aurantium</i> e <i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck)</p>	<p>D-limoneno, citral, citronelol e alfa-pineno</p>	<p>Causa danos ao tegumento e desidratação, além de atuar como repelente, o que afeta negativamente a capacidade reprodutiva e aumenta a taxa de mortalidade</p>	<p>Coleoptera; Diptera; Lepidoptera</p>
<p><i>Citrus reticulata</i> Blanco</p>	<p>D-limoneno, citral, citronelol e alfa-pineno</p>	<p>Causa danos ao tegumento e desidratação, além de atuar como repelente, afeta negativamente a capacidade reprodutiva e aumenta a taxa de mortalidade</p>	<p>Coleoptera</p>
<p><i>Cymbopogon nardus</i> (L.) Rendle</p>	<p>Citronelal / Geraniol</p>	<p>Age por contato e desorientação olfativa, funcionando como repelente e inibidor da oviposição</p>	<p>Diptera; Hymenoptera (formigas); Hemiptera (pulgões)</p>
<p><i>Cyperus rotundus</i> L.</p>	<p>Alcaloides, antraquinonas, cumarinas, esteroides, triterpenos, flavonoides, saponinas, taninos e resinas</p>	<p>Possui ação anti alimentar e inibe o crescimento, podendo levar à morte dos insetos por vários meios</p>	<p>Coleoptera</p>
<p><i>Deguelia amazonica</i> Killip (sinonímia <i>Derris amazonica</i>)</p>	<p>Rotenona</p>	<p>Inibe a alimentação e a cadeia respiratória mitocondrial, resultando em toxicidade e aumento da taxa de mortalidade</p>	<p>Coleoptera</p>
<p><i>Deguelia nitidula</i> (Benth.) A.M.G.Azevedo & R.A.Camargo (sinonímia</p>	<p>Rotenona</p>	<p>Inibe a alimentação e a cadeia respiratória mitocondrial, resultando em toxicidade e aumento da taxa de mortalidade</p>	<p>Coleoptera</p>

<i>Lonchocarpus floribundus</i>)			
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Cineol (eucaliptol)	Apresenta ação neurotóxica e repelente, causando a redução populacional dos insetos	Diptera, Hemiptera (pulgões)
<i>Eucalyptus grandis</i> W.Hill ex Maiden	Cineol (eucaliptol)	Possui ação neurotóxica e repelente, o que leva ao aumento da taxa de mortalidade	Coleoptera
<i>Eugenia uniflora</i> L.	sesquiterpenos, como o curzereno e o espatulenol. flavonoides e taninos.	Compromete a digestão e o crescimento dos insetos, resultando no aumento da taxa de mortalidade	Coleoptera, Hymenoptera (formigas)
<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	Anetol, fenchona	Efeito neurotóxico, aumento da taxa de mortalidade e apresentando ação larvicida	Coleoptera; Lepidoptera
<i>Glycine max</i> (L.) Merr.	Isoflavonóides, inibidores de protease	Possui ação anti alimentar e anti digestiva, provoca redução do crescimento larval e deformidades	Lepidoptera; Coleoptera
<i>Helianthus annuus</i> L.	Lactonas sesquiterpênicas	Apresenta ação anti alimentar e de inibição do desenvolvimento, causando a redução da alimentação e do crescimento larval	Coleoptera; Hemiptera (cochonilha)

<i>Illicium verum</i> Hook.f.	Anetol	Causa neurotoxicidade, aumento da mortalidade e repelência	Coleoptera; Lepidoptera
<i>Lippia alba</i> (Mill.) N.E.Br. ex Britton & P.Wilson	Linalol, carvona, limoneno	Ação neurotóxica, aumento da taxa de mortalidade	Coleoptera
<i>Manihot esculenta</i> Crantz	linamarina que origina o ácido cianídrico (HCN)	Inibe a respiração celular, aumento da taxa de mortalidade	Hemiptera (pulgões)
<i>Melia azedarach</i> L.	Saponinas e alcalóides neurotóxicos. Limonóides.	Ação neurotóxica e antialimentar, causando paralisia, redução da alimentação e aumento da mortalidade	Coleoptera; Diptera; Hemiptera (pulgões); Lepidoptera; Hymenoptera (formigas)
<i>Moringa oleifera</i> Lam.	Isotiocianatos	Causa interferência enzimática e digestiva, aumento da taxa de mortalidade	Coleoptera; Lepidoptera
<i>Nicotiana tabacum</i> L.	Nicotiana	Ação neurotóxica, inibe a alimentação	Coleoptera
<i>Ocimum basilicum</i> L.	Citronelal / Geraniol	Age por contato e desorientação olfativa, causando repelência e inibição da oviposição	Diptera; Coleoptera
<i>Origanum vulgare</i> L.	Timol / Carvacrol	Causa disrupção da membrana celular por contato, levando à desidratação e morte celular	Coleoptera; Diptera; Acari (ácaros)

<i>Piper nigrum</i> L.	Piperina	Age como neurotóxico, bloqueando canais de sódio/potássio, o que resulta em paralisia e mortalidade	Coleoptera; Diptera; Lepidoptera
<i>Quillaja saponaria</i> Molina	Saponinas	Dificuldade de digestão, toxicidade, atividade repelente	Lepidoptera; Coleoptera
<i>Ricinus communis</i> L.	Ricina, óleo de mamona	Inibe a síntese de proteínas e possui ação tóxica e antialimentar, causando redução da alimentação, mortalidade e repelência	Hemiptera (cochonilhas, percevejos, pulgões), Lepidoptera
<i>Ruta graveolens</i> L.	Furanocumarinas, rutina	Toxicidade, aumento da taxa de mortalidade	Diptera; Hemiptera (pulgões); Hymenoptera (formigas)
<i>Schinus molle</i> L.	Terpenos, α -pineno, β -pineno	Age como neurotóxico e repelente, aumento da taxa de mortalidade	Blattodea (cupins); Diptera; Hymenoptera (formigas); Lepidoptera
<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	Taninos, terpenóides	Possui ação anti alimentar e de inibição digestiva, levando à redução do crescimento larval e da alimentação	Coleoptera
<i>Syzygium aromaticum</i> (L.) Merr. & L.M.Perry	Eugenol	Causa neurotoxicidade e desnaturação de proteínas, resultando em repelência e mortalidade de larvas e adultos	Blattodea (cupins); Diptera; Coleoptera

<i>Tanacetum cinerariifolium</i> Sch.Bip. (sinonímia <i>Chrysanthemum cinerariifolium</i>)	Piretrinas	Ação neurotóxica, provoca paralisia e morte	Diptera; Hemiptera (pulgão); Lepidoptera
<i>Thymus vulgaris</i> L.	Timol / Carvacrol	Causa disrupção da membrana celular por contato, levando à desidratação e morte celular	Coleoptera; Diptera; Acari (ácaros)
<i>Zea mays</i> L.	DIMBOA (benzoxazinoides)	Possui ação anti alimentar e toxicidade metabólica, o que causa redução do crescimento larval e mortalidade	Coleoptera; Hemiptera (cochonilhas)

Referências: Mazzonetto & Vendramim (2003), Isman (2006), Astolfi et al. (2007), Barbosa et al. (2006), Gonzaga et al. (2007), Dequech et al. (2008), Alecio et al. (2010), Picanço (2010), Corrêa & Salgado (2011), Shukla et al. (2011), Regnault-Roger et al. (2012), Jung et al. (2013), Alécio et al. (2014), Ataíde et al. (2019), Boaventura et al. (2002), Silva (2019), Albiero et al. (2020), Machado et al. (2020), Mordue(Luntz) & Nisbet (2000), Oliveira et al. (2022), Lima & Silva (2023), Maulidya et al. (2023), Ferreira (2024), Welbert et al. (2024), Cabangal et al. (2018), Gupta & Dikshit (2014), Kogan (1994), Niemeyer (1988), Pascual-Villalobos & Cantó-Tejedor (2000), Scott et al. (2008).

As plantas produzem ampla variedade de compostos com diferentes funções, incluindo a defesa contra herbívoros, com tais substâncias sendo denominadas de metabólitos secundários, que agem como repelentes, inibidores de alimentação, reguladores de crescimento e podem até mesmo provocar a morte dos insetos, aumentando a taxa de mortalidade nas populações (Corrêa & Salgado 2011, Regnault-Roger et al. 2012).

Espécies da família Meliaceae podem ser fonte de limonóides, com atividade inseticida (Isman 2006, Almeida 2020). O potencial no controle de populações de insetos de *A. indica*, fonte de azadiractina, é amplamente conhecido e possui eficácia, por exemplo, contra *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (traça-do-tomateiro), com o extrato de sementes a 5% causando 100% de mortalidade das larvas (Moura et al. 2021). Outra espécie relevante é *Melia azedarach* L. (cinamomo), que contém limonóides com alta atividade biológica (Boaventura et al. 2002).

A família Myrtaceae, que no levantamento se destacou com seis espécies, é notável pela produção de óleos essenciais com atividade inseticida. Compostos como o cineol (eucaliptol), presente em *Eucalyptus globulus* Labill, e o eugenol, de *S. aromaticum* (cravo-da-índia), demonstram ação neurotóxica e de contato. Esses compostos são eficazes contra diversas pragas, incluindo dípteros, coleópteros, formigas (Hymenoptera) e pulgões (Hemiptera) (Corrêa & Salgado 2011).

Espécies da família Rutaceae, representadas por espécies como as do gênero *Citrus* e a arruda (*Ruta graveolens* L.), são fontes de D-limoneno e furanocumarinas. O D-limoneno age causando danos ao tegumento e desidratação, enquanto as furanocumarinas provocam fotossensibilização e toxicidade celular (Isman 2006). Tais compostos demonstraram ação contra um amplo espectro de insetos, como coleópteros, dípteros e lepidópteros (Regnault-Roger et al. 2012).

Na família Asteraceae, destaca-se o piretro (*Tanacetum cinerariifolium* Sch.Bip.), fonte das piretrinas, compostos neurotóxicos que bloqueiam os canais de sódio no sistema nervoso dos insetos, causando paralisia e morte (Isman 2006). A erva-de-são-joão (*Ageratum conyzoides* L.) produz precocenos que atuam como antagonistas do hormônio juvenil e afetam pragas como lepidópteros e hemípteros (Ferreira 2024).

As Brassicaceae, como a mostarda (*Brassica juncea* (L.) Czern.) e a canola (*Brassica napus* L.), produzem isotiocianatos, que possuem considerável ação fumigante e inibem processos metabólicos nos insetos, com a sua atividade podendo ter como consequência a repelência e a morte de larvas e adultos, sendo útil contra coleópteros e cochonilhas (Hemiptera) (Corrêa & Salgado 2011).

A família Fabaceae inclui os timbós (*Deguelia* spp.), fontes de rotenona, um inseticida conhecido por inibir a cadeia respiratória mitocondrial (Isman 2006). Além disso, a soja (*Glycine max* (L.) Merr.) produz isoflavonóides com ação anti alimentar e anti digestiva. Esses compostos são utilizados no controle de coleópteros e lepidópteros (Regnault-Roger et al. 2012).

As Lamiaceae, que incluem o manjeriço (*Ocimum basilicum* L.), o orégano (*Origanum vulgare* L.) e o tomilho (*Thymus vulgaris* L.), possuem monoterpenos como timol, carvacrol, citronelal e geraniol. Atuam principalmente por contato, causando a ruptura da membrana celular ou desorientação olfativa, o que leva à morte ou repelência de dípteros e coleópteros (Corrêa & Salgado 2011, Regnault-Roger et al. 2012).

As famílias Rutaceae e Asteraceae também se destacam na prospecção de compostos inseticidas. O extrato aquoso de *R. graveolens* (arruda; Rutaceae) a 5% ocasionou mortalidade de 32,5% sobre *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824), superior à obtida com *Artemisia verlotorum*

(Asteraceae) (Barbosa et al. 2009), demonstrando a viabilidade de métodos que podem ser usados na agricultura orgânica.

Além dessas, outras espécies vegetais de diferentes famílias vêm apresentando resultados expressivos em testes laboratoriais e de campo. O extrato etanólico de pimenta-malagueta (*Capsicum frutescens* L.) causou mortalidade superior a 85% em tripes - *Frankliniella schultzei* (Trybom, 1910), após 48 horas de exposição e concentração de 2% (Moura et al. 2021). Já o óleo essencial de citronela (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle eliminou 100% das larvas de *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) em 125 ppm e apresentou mais de 70% de repelência em formulações a 2% (Silva et al. 2019).

Outros compostos podem ser obtidos do alho (*Allium sativum* L.), rabanete (*Armoracia rusticana* G.Gaertn., B.Mey. & Scherb.), mostarda (*B. juncea*) e canela (*Cinnamomum cassia* Nees ex Blume), com taxas de mortalidade de carunchos (Coleoptera) que, em alguns casos, podem alcançar 100% (Kim et al. 2003, Corrêa & Salgado 2011).

A aroeira-pimenteira (*Schinus molle* L.), nativa do Brasil, produz óleo essencial rico em α -pineno e β -pineno, eficaz contra *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (lagarta-da-soja), com 30% de mortalidade em 72 horas (Vicença et al. 2020). Apesar da eficácia moderada, a espécie apresenta potencial para formulações de baixo impacto e valor agregado em sistemas de restauração ecológica.

O piretro-da-dalmácia - *Tanacetum cinerariifolium* Sch.Bip. (sinonímia *Chrysanthemum cinerariifolium*), produtor de piretrinas, é uma das bases para inseticidas orgânicos certificados, apresentando baixa toxicidade a mamíferos e rápida degradação ambiental características desejáveis em programas de manejo integrado de pragas (Isman, 2006).

Os terpenóides, especialmente os limonoides, constituem uma das classes mais estudadas e são abundantes em espécies da família *Meliaceae*, como *A. indica* e *M. azedarach*. A azadiractina, principal limonoide do nim, atua como análogo do hormônio juvenil e interfere na muda e na reprodução dos insetos. Outros limonoides presentes nos frutos de *M. azedarach* também demonstram bioatividade, o que faz essa espécie ser promissora para a produção de bioinseticidas (Corrêa & Salgado 2011).

Os alcaloides e rotenoides representam outra classe historicamente importante no contexto dos inseticidas naturais. Compostos como a nicotina, de *Nicotiana tabacum*, e a rotenona, de *Derris* e *Lonchocarpus*, foram bioinseticidas aplicados em larga escala e têm efeito neurotóxico e podem provocar a morte. De modo semelhante, as piretrinas, extraídas das flores de *Chrysanthemum cinerariaefolium*, constituem os inseticidas botânicos de maior relevância

econômica e serviram de base para o desenvolvimento dos piretróides sintéticos (Isman 2006, Regnault-Roger et al. 2012).

Além dos metabólitos de baixo peso molecular, muitas plantas produzem proteínas e peptídeos de defesa com ação inseticida. Entre elas destacam-se os inibidores de α -amilase, as lectinas e as proteínas cisteínicas, que afetam diretamente o sistema digestivo dos insetos, comprometendo a absorção de nutrientes e causando danos às células do intestino médio. Tais mecanismos complementam as ações neurotóxicas e hormonais, ampliando o espectro de defesa vegetal e reduzindo o risco de resistência cruzada entre populações de insetos (Boaventura et al. 2019, Isman 2020).

A diversidade dessas classes químicas e de seus modos de ação representa uma vantagem ecológica e agrônômica relevante em relação aos inseticidas sintéticos de alvo único. O ataque simultâneo a diferentes sistemas fisiológicos dos insetos, como o metabolismo mitocondrial, a regulação hormonal e o sistema nervoso, confere aos compostos vegetais maior eficácia e menor probabilidade de desenvolvimento de resistência em longo prazo (Regnault-Roger et al. 2012, Almeida 2020).

Adicionalmente, a pesquisa moderna tem avançado para além da prospecção de compostos isolados, focando no efeito sinérgico que ocorre em formulações combinadas. Estudos recentes demonstram que a associação de diferentes classes de metabólitos, como terpenóides e compostos fenólicos, pode resultar em uma atividade inseticida potencializada, superando a eficácia de cada composto aplicado isoladamente. Um exemplo notável é a combinação de extratos de *A. indica* e *S. aromaticum* (cravo-da-índia), onde a ação reguladora de crescimento da azadiractina e a atividade neurotóxica do eugenol atuam em conjunto, diminuindo a dose necessária para o controle de pragas e reduzindo o risco de desenvolvimento de resistência (Costa & Pereira 2024).

Diferentemente dos inseticidas sintéticos, que costumam agir sobre um único alvo bioquímico, os compostos vegetais combinam múltiplos efeitos fisiológicos, deteriorando a capacidade de sobrevivência, a alimentação e a reprodução dos insetos, o que reduz o risco de desenvolvimento de resistência e garante maior estabilidade ecológica nos agroecossistemas (Corrêa & Salgado 2011, Almeida 2020). Os inseticidas podem atuar de diferentes maneiras sobre o organismo dos insetos, afetando o sistema nervoso, a musculatura, o crescimento, a respiração ou o trato digestivo e agirem como repelentes olfativos, além disso o efeito pode variar conforme o estágio de desenvolvimento do inseto, o que deve ser levado em conta no planejamento do manejo do inseto (Oliveira Pereira 2014, Moura et al. 2021). A ação inseticida pode ocorrer por diferentes mecanismos, como a toxicidade por contato ou ingestão, a alteração do comportamento alimentar, a inibição do crescimento, alterações hormonais que impedem a muda e oviposição,

com os variados efeitos provocando o aumento da taxa de mortalidade nas populações de insetos (Corrêa & Salgado 2011, EMBRAPA 2017).

Compostos como a azadiractina e outros limonóides são classificados como não neurotóxicos, atuando de forma regulatória e fisiológica (Isman 2006, Regnault-Roger et al. 2012). A azadiractina interfere no processo de ecdise, inibe a formação de quitina e compromete o desenvolvimento das ninfas, além de atuar afetando o comportamento alimentar e a reprodução (Boaventura et al. 2019; Isman, 2020). A redução da alimentação e repelência são efeitos de muitos bioinseticidas botânicos, incluindo os extratos de *A. indica* (e os óleos essenciais de espécies como *Eucalyptus* spp. (eucalipto) e *S. aromaticum* (cravo-da-índia), pois reduzem a atratividade e a ingestão alimentar por parte das pragas (Isman, 2020).

Por vezes, a atividade inseticida não ocorrerá somente pela ação de uma substância, mas pela combinação de metabólitos secundários, como a azadiractina, cujos efeitos podem se combinar com fenóis, alcalóides e limonóides, com extrato vegetal podendo ter maior eficiência pela ação combinada de diferentes moléculas que podem atuar de forma sinérgica (Isman 2020, Regnault-Roger et al. 2012).

A eficiência dos bioinseticidas vegetais tem sido comprovada em diversos estudos, que demonstram altas taxas de mortalidade para importantes pragas agrícolas. Moura et al. (2021), por exemplo, observaram que o extrato de sementes de nim (*A. indica*) na concentração de 5% foi capaz de causar 100% de mortalidade em larvas de traça-do-tomateiro (*T. absoluta*). Em outra pesquisa, o extrato etanólico de pimenta-malagueta (*C. frutescens*) a 2% provocou mortalidade superior a 85% em tripes - *Frankliniella schultzei* (Trybom, 1910), após 48 horas de exposição (Moura et al. 2021). Da mesma forma, o óleo essencial de citronela (*C. nardus*) demonstrou ser altamente eficaz, eliminando 100% das larvas de *Aedes aegypti* em uma concentração de 125 ppm (Silva et al. 2020). Corrêa & Salgado (2011) também relataram taxas de mortalidade superiores a 90% para pragas de grãos armazenados, como *Sitophilus oryzae* (L. 1758) e *Callosobruchus chinensis* (Linnaeus, 1758), utilizando compostos de alho, rabanete e canela.

Os bioinseticidas vegetais apresentam algumas vantagens em comparação aos agrotóxicos sintéticos (Quadro 3). Embora demandem aplicações mais frequentes, os seus custos diretos costumam ser mais baixos, principalmente nas formulações artesanais. Os custos indiretos como impactos à saúde humana e ao meio ambiente também são significativamente menores, reforçando o caráter sustentável desses produtos.

Quadro 3. Comparativo entre bioinseticidas vegetais e agrotóxicos sintéticos.

Fator	Bioinseticidas Vegetais	Agrotóxicos Sintéticos
Custo Direto	Baixo (artesanais); médio (formulações comerciais)	Alto; dependência de importações e patentes
Frequência de aplicação	Alta (degradação rápida); compatível com MIP	Menor, mas com risco de resistência e aumento de doses
Custos indiretos	Quase nulos (reduzidos impactos ambientais ou à saúde)	Elevados (intoxicação, poluição, perda de biodiversidade)
Custo-benefício/ Vantagem- desvantagem	Favorável para a agricultura familiar e a orgânica	Alta dependência de insumos externos

Referências: Isman (2006), Rigueira & Fernandes (2011), Santos & Cunha (2015), Almeida (2020).

Essas características tornam os bioinseticidas vegetais uma ferramenta estratégica para pequenos e médios agricultores, promovendo autonomia produtiva, redução de custos e inserção em mercados diferenciados, podendo ser úteis inclusive para a agricultura orgânica e para a certificação como gerados de forma ambientalmente correta e livres de agrotóxicos sintéticos.

Pesquisas reforçam algumas das vantagens dos bioinseticidas vegetais, como a redução de 60% nos custos com insumos em sistemas agroecológicos no Ceará (Santos et al. 2021), a economia de até 50% no cultivo de algodão com bioinseticidas na Índia (Isman 2020) e a diminuição de 40% nas aplicações em cultivos orgânicos do Sul do Brasil sem perdas de produtividade (Embrapa 2024).

Além dos preparados artesanais tradicionalmente utilizados por agricultores familiares, há também formulações industrializadas que passam por processos de padronização, regulamentação e avaliação toxicológica (ANVISA 2005, MAPA 2008). Mas ainda existem empecilhos para a utilização em larga escala, como a alta variabilidade na composição química, influenciada por fatores como a espécie vegetal, tipo de solo, idade da planta, clima e método de extração, dificulta a padronização das formulações e compromete a aplicação consistente em campo (Fapesp 2023). Embora apresentem benefícios ecológicos e econômicos, a eficácia dos extratos vegetais pode variar conforme a concentração, o método de preparo, a espécie vegetal e o tipo de inseto-alvo. Ainda assim, os resultados observados em pequenas propriedades e sistemas agroecológicos

demonstram que o uso de plantas inseticidas pode gerar bons índices de controle de pragas com custos reduzidos e menor impacto ambiental (Santos et al. 2024).

Outro obstáculo é a baixa persistência dos compostos ativos. Diferentemente dos agrotóxicos sintéticos, os princípios vegetais degradam-se rapidamente sob exposição solar e umidade, exigindo reaplicações frequentes. Embora isso reduza a contaminação residual, eleva os custos operacionais, especialmente para pequenos produtores (Agrotécnico 2023).

Outro desafio é a falta de estudos toxicológicos abrangentes sobre os efeitos de bioinseticidas em organismos não alvo. Embora sejam naturais, muitos compostos vegetais possuem ação inseticida inespecífica, podendo afetar polinizadores, inimigos naturais de pragas e a microbiota do solo. Estudos indicam, por exemplo, que o eugenol pode causar toxicidade em abelhas quando aplicado em concentrações elevadas (Campos et al. 2019). A avaliação ecotoxicológica de extratos vegetais é complexa, dada a multiplicidade de compostos e sua variação química em função das condições ambientais e de processamento. Além de testar a mortalidade direta, é necessário investigar efeitos subletais e crônicos sobre reprodução, comportamento e desenvolvimento de organismos benéficos, garantindo o uso seguro e sustentável desses insumos em longo prazo.

Para superar as limitações associadas à estabilidade e persistência dos compostos vegetais, pesquisas recentes têm investido em tecnologias inovadoras, como o uso de nanocarreadores e sistemas de encapsulamento. O encapsulamento protege os princípios ativos da degradação ambiental, permitindo uma liberação controlada e prolongando o efeito inseticida. Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária).

Além do nanoencapsulamento, outras tecnologias de formulação têm ganhado destaque, como o uso de matrizes poliméricas biodegradáveis (quitosana e alginato) para a microencapsulação de óleos essenciais. Esses sistemas protegem os compostos ativos da degradação pela radiação UV e pela temperatura, além de promoverem uma liberação lenta e controlada no ambiente. Essa tecnologia ataca diretamente um dos principais desafios agrônômicos dos fitoinseticidas: a baixa persistência, aumentando o intervalo entre as aplicações e a viabilidade econômica para o produtor (Santos et al. 2024).

Souza et al. (2021) demonstraram que o encapsulamento de óleo de nim (*A. indica*) em nanocápsulas aumentou em 72 horas a persistência da azadiractina em campo, com alta eficácia contra larvas de *Aedes aegypti*. Outras formulações nanotecnológicas vêm sendo testadas com óleos essenciais de citronela, pimenta, alho e aroeira, utilizando métodos analíticos avançados, como cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) e espectrometria de massas.

Segundo Kah et al. (2019), o uso de nanotecnologia em biopesticidas aumenta em até 40% a seletividade dos compostos, devido a mecanismos como: Encapsulação e liberação controlada: protege o composto ativo e garante sua ação no momento adequado; Direcionamento específico: as nanopartículas podem ser desenhadas para se ligar a receptores específicos de pragas; Redução da dose necessária: com maior eficiência, são aplicadas menores quantidades do composto, diminuindo impactos ambientais; Aumento da persistência: a proteção conferida pelas nanopartículas evita degradação rápida e amplia o tempo de ação.

A eficácia de um bioinseticida dentro do MIP depende também de sua seletividade ecológica. A avaliação do risco dos metabólitos secundários afetarem organismos não-alvo é crucial, então as pesquisas não devem se limitar à eficácia contra a praga-alvo. Estudos recentes têm se aprofundado não apenas na mortalidade direta, mas nos efeitos subletais que bioinseticidas, mesmo em baixas concentrações, podem causar em polinizadores. Extratos de piretro, por exemplo, demonstraram afetar a capacidade de aprendizado e forrageio de abelhas nativas, comprometendo a polinização em áreas tratadas (Fernandes & Lima 2025). Essa lacuna de estudos ecotoxicológicos precisa ser preenchida com novas pesquisas.

Apesar das questões que ainda devem ser respondidas, pode-se afirmar que o uso de plantas com ação inseticida ou repelente representa uma alternativa interessante para o MIP, apresentando inclusive baixo custo e causando menos impactos ambientais negativos que os inseticidas sintéticos (Isman 2006, Picanço 2010), podendo ser especialmente útil em sistemas agroecológicos e na agricultura orgânica. As plantas inseticidas podem ser empregadas de diversas formas: na forma de extratos aquosos, óleos essenciais, pós vegetais, infusões, macerados ou caldas caseiras e podem atuar tanto como inseticidas de contato quanto como repelentes, inibidores de alimentação, reguladores de crescimento ou esterilizantes, dependendo dos compostos ativos presentes (Regnault-Roger *et al.* 2012).

Estes bioinseticidas vêm sendo utilizados por populações tradicionais a muitas gerações, com o conhecimento tradicional podendo inclusive ser utilizado no processo de prospecção de novos metabólitos secundários com potencial inseticida. Agricultores familiares também utilizam frequentemente espécies com potencial bioinseticida. Assim, apesar do efeito dos compostos sobre os insetos terem que ser avaliadas cientificamente, o saber popular pode acelerar a descoberta de soluções ambientalmente corretas para o controle de pragas, (Albuquerque & Moura 2023).

No semiárido nordestino, o extrato de *A. indica* e de outras plantas são usados no controle de pulgões (*Aphis* spp.) e mosca-branca - *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889), com bons resultados em hortaliças (Silva et al. 2021). No estado de São Paulo, produtores orgânicos aplicam caldas com alho (*Allium sativum* L.), pimenta (*C. frutescens*) para controle de *Spodoptera frugiperda* (JE

Smith, 1797) (Moura et al. 2021). Na região amazônica, comunidades tradicionais utilizam óleo de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) para afastar percevejos e besouros de cultivos de milho e mandioca (Oliveira & Santos 2023).

Historicamente, o controle de pragas baseou-se no uso de produtos químicos sintéticos, que oferecem resultados imediatos na redução das populações de insetos. Entretanto, o uso contínuo e indiscriminado desses produtos ocasionou sérias consequências ambientais e socioeconômicas, como a seleção de populações resistentes (Isman 2006), o desequilíbrio ecológico devido à eliminação de inimigos naturais (Regnault-Roger et al. 2012), a contaminação de solos, águas e alimentos e os riscos à saúde humana (Paglia et al. 2020). Essas limitações impulsionaram a busca por alternativas sustentáveis, como os extratos vegetais e plantas com ação inseticida ou repelente. O uso de extratos vegetais no manejo de pragas insere-se em uma abordagem mais ampla de agricultura sustentável, promovendo práticas de menor impacto ambiental, maior segurança alimentar e compatibilidade com sistemas de produção orgânicos e agroecológicos (EMBRAPA 2019). O presente trabalho colabora para gerar conhecimento sobre o tema a partir da compilação e análise de informações disponíveis na literatura. É importante mencionar que o Programa Nacional de Bioinsumos do MAPA em 2020 ampliou o incentivo à produção e uso de defensivos de base biológica, incluindo extratos vegetais. No cenário global, o mercado de bioinseticidas movimentou cerca de US\$4,3 bilhões em 2022, com projeção de atingir US\$10,2 bilhões até 2030 (Grand View Research 2023).

Porém, ainda são necessárias pesquisas que proporcionem a descoberta de novos metabólitos secundários úteis como bioinseticidas, realizar estudos sobre a susceptibilidade das diferentes espécies de insetos pragas aos diferentes bioinseticidas e avaliar os efeitos sinérgicos de diferentes metabólitos secundários, que podem aumentar a eficiência do inseticida. Além disso, entre os principais entraves técnicos e científicos estão a variabilidade química dos extratos que compromete a padronização e o controle de qualidade e a escassez de estudos toxicológicos aprofundados sobre os efeitos desses compostos em organismos não alvo, como polinizadores e inimigos naturais (Fapesp 2023). É importante salientar que a eficácia dos extratos vegetais depende de diversos fatores, como o modo de preparo, concentração, forma de aplicação e o inseto-alvo. Embora apresentem vantagens ecológicas e sociais, o uso dessas plantas ainda carece de padronização e regulamentação técnica ampla (BRASIL 2008, BRASIL 2009), o que limita sua adoção em larga escala, especialmente na agricultura comercial. No entanto, estudos recentes indicam que, em pequenas propriedades e na agricultura familiar, seu uso tem gerado bons resultados no controle de pragas com custos reduzidos e menor risco ambiental (Santos et al. 2021).

Como recomendação para que o Brasil avance na consolidação da produção e uso de bioinseticidas, inclusive em larga escala, é importante citar a necessidade de ampliar a prospecção de espécies nativas, pois o potencial da flora nativa é subexplorado. Neste sentido, pesquisas podem focar em espécies de famílias botânicas que já possuem plantas reconhecidamente relevantes para o controle de insetos. Além disso, é relevante desenvolver pesquisas para aumentar a estabilidade dos bioinseticidas e a sua persistência. Também podem ser realizados estudos para avaliar a possibilidade de unir extratos de diferentes espécies de plantas de modo a ter ganhos na eficiência do controle dos insetos, buscando então compostos que possam ter sinergia que possibilite esse ganho.

Também é importante mencionar que o conhecimento gerado pelas pesquisas sobre bioinseticidas deve chegar aos produtores rurais, incluindo os produtores familiares. Para tal é essencial que os profissionais que trabalham na extensão rural tenham conhecimento sobre o tema e sejam estimulados a disseminar este saber. As informações a serem transferidas podem incluir, as espécies de plantas com potencial bioinseticida, o modo de preparo e de aplicação do produto e o tempo decorrente de cada aplicação.

O Brasil tem potencial para ser um grande produtor de bioinseticidas botânicos, contribuindo para o combate a insetos praga e, conseqüentemente, para a produção de alimentos, matéria-prima e proteger a saúde pública. Também pode contribuir para a redução da poluição ambiental causada por inseticidas químicos sintéticos. Porém, é importante que sejam criadas políticas públicas para possibilitar que isto seja alcançado. Tais políticas são essenciais inclusive para que as recomendações citadas anteriormente sejam implementadas. Então, o desenvolvimento desta tecnologia pode ser realizado e divulgado por meio da iniciativa privada, mas a participação do poder público é de suma importância.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram identificadas 44 espécies promissoras para a produção de bioinseticidas, incluindo tanto plantas exóticas consagradas, como *A. indica*, quanto espécies nativas de expressivo potencial, a exemplo de *C. guianensis*. Porém, são necessárias novas pesquisas que possam explorar o potencial da diversidade botânica brasileira para a produção de bioinseticidas vegetais. Esta revisão bibliográfica revelou um paradoxo, pois apesar da imensa biodiversidade brasileira, a pesquisa científica e o desenvolvimento de produtos bioinseticidas são majoritariamente focados em espécies exóticas. Isto possibilita concluir que o mais importante para consolidar esta tecnologia no Brasil é superar essa lacuna, com o fomento à pesquisas e atividades de extensão sobre bioinseticidas preparados a partir de espécies nativas.

A consolidação dos bioinseticidas como uma ferramenta de larga escala ainda enfrenta barreiras técnicas significativas. Entre os principais desafios identificados estão a dificuldade de padronização química dos extratos e a baixa estabilidade dos compostos em campo. Além disso, são necessários novos estudos avaliando os efeitos dos bioinseticidas sobre espécies não-alvo e sobre a saúde pública.

Para que o potencial da flora nacional seja de fato explorado, o avanço da pesquisa científica precisa acontecer em duas frentes conectadas. De um lado, é necessária uma bioprospecção estratégica, direcionando o foco para espécies nativas do Brasil e de famílias promissoras, mas cujo potencial ainda é subexplorado. De outro, esse esforço de descoberta precisa estar aliado à tecnologia de formulação, com investimento em formulações avançadas, notavelmente o nanoencapsulamento, que pode reduzir a baixa persistência e estabilidade, aumentando a viabilidade econômica e agrônômica dos bioinseticidas.

No entanto, a consolidação desses produtos não é apenas técnica, mas também social. É crucial fortalecer programas de extensão rural que integrem o conhecimento científico ao saber tradicional, capacitando agricultores para o uso seguro e eficaz de bioinseticidas. O saber popular, que inclui várias das espécies de plantas estudadas para produção de bioinseticidas, não deve ser visto como folclore, mas como um parceiro valioso na aceleração das descobertas.

Diante desse cenário, conclui-se que o uso de plantas inseticidas não deve ser encarado como um substituto imediato dos métodos convencionais, mas sim como um pilar essencial para a transição rumo a sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis. A superação dos desafios mencionados depende de uma abordagem articulada que integre pesquisa científica, políticas públicas e a valorização do conhecimento tradicional.

A presente revisão bibliográfica demonstrou que os bioinseticidas vegetais representam uma alternativa estratégica e cientificamente validada para o manejo de pragas de espécies cultivadas. As plantas produzem uma vasta diversidade de moléculas com utilidade no manejo de pragas. Essa diversidade bioquímica confere às plantas inseticidas um papel central no MIP, possibilitando a redução da dependência de agrotóxicos sintéticos e, conseqüentemente, na minimização dos seus impactos ambientais, incluindo os agravos à saúde humana.

Por fim, este trabalho conclui que a transição para uma agricultura verdadeiramente sustentável exige uma postura crítica. Os estudos ecotoxicológicos sobre organismos não-alvo, como polinizadores e inimigos naturais, não podem mais ser tratados como uma etapa secundária ou futura. Eles devem ser um pilar central na metodologia de desenvolvimento de qualquer bioinseticida, seja ele nativo ou exótico. O avanço científico deve garantir que a solução para uma praga não se torne um novo problema para a sustentabilidade da produção do agroecossistema.

5. REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA (2005) Resolução RDC nº 250, de 14 de dezembro de 2005. Dispõe sobre o registro de produtos fitossanitários com uso aprovado para a agricultura orgânica. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 dez.

Agrotécnico (2023) Bioinseticidas: vantagens, desvantagens e exemplos de uso. Disponível em: <https://agrotecnico.com.br>. Acesso em: 22 jul. 2025.

Albiero B, Freiberger G, Vanin AB (2020) Atividade inseticida e repelente de extrato e pó de sementes de *Anethum graveolens* e *Azadirachta indica* frente ao *Sitophilus zeamais*. *Scientia Plena*. 16 (4): 1-9.

Albuquerque RF, Moura AN (2023) Etnobotânica e bioprospecção de plantas inseticidas da Caatinga: um diálogo entre o saber tradicional e a ciência. *Revista Brasileira de Etnobiologia* 21 (2): 1-15.

Albuquerque UP et al. (2007) Medicinal plants of the Caatinga (semi-arid) vegetation of NE Brazil: a quantitative approach. *Journal of Ethnopharmacology* 114 (3): 325-354.

Alecio MR et al. (2010) Ação inseticida do extrato de *Derris amazonica* Killip para *Cerotoma arcuatus* Olivier (Coleoptera: Chrysomelidae). *Acta Amazonica*. 40 (4): 719-728.

Almeida RP (2020) Táticas agroecológicas para o manejo de insetos-praga da cultura do algodoeiro. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 69 p. (Embrapa Algodão. Documentos, 283).

Altieri MA, Nicholls CI (2012) Agroecologia: princípios e estratégias para uma agricultura sustentável.

Alves MB (2023) Bioprospecção de óleos essenciais de especiarias e avaliação das atividades antioxidante, tóxica e antibacteriana contra *Corynebacterium diphtheriae*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís.

Alves RM, Costa ABT, Rodrigues LS (2022) Plantas inseticidas no manejo de pragas agrícolas. *Revista Brasileira de Agroecologia* 17 (1): 69-84.

Alves SN, Vieira PC (2019) Mecanismos de ação de compostos vegetais no controle de insetos-praga. *Revista de Agricultura Sustentável* 8 (1): 34-50.

Arise AS, Silva LKR, Carvalho GCF, Santos GR (2022) Ecotoxicologia de óleos essenciais para polinizadores: uma revisão. *Research, Society and Development* 11 (16): e424111638210.

Asadbeigi E, Naseri B, Ghorbani A, Abbasi S, Ghadamyari M (2022) Essential oils as an effective alternative to control agricultural pests and diseases. *Plants*, 11(24): 3535.

Astolfi V et al. (2007) Estudo do efeito repelente e inseticida do óleo essencial das cascas de *Citrus sinensis* L. Osbeck no controle de *Sitophilus zeamais* Mots em grãos de milho (*Zea mays* L.). In: *Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil*. Caxambu: SEB.

Barbosa FR, Silva CSB, Carvalho GKL (2006) Uso de inseticidas alternativos no controle de pragas agrícolas. Petrolina: Embrapa SemiÁrido.

Barbosa PC, Santos FA, Nascimento FS, Silva CV, Rocha TO (2021) Uso de defensivos agrícolas e seus impactos no meio ambiente e saúde humana: uma revisão de literatura. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 13, p. e309101321034.

Barbosa FS, Leite GLD, Martins ER, Guanabens REM, Silva FWS (2009) Métodos de extração e concentrações no efeito inseticida de *Ruta graveolens* L., *Artemisia verlotorum* Lamotte e *Petiveria alliacea* L. a *Diabrotica speciosa* Germar. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais* 11(3): 221-229.

Barros LS, Estrela JLV, Fazolin M, Catapan MI, Souza ALT, Pereira BFS (2020) Encapsulation of *Cymbopogon flexuosus* essential oil in alginate/chitosan nanoparticles for the control of *Bemisia tabaci*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165: 291–300.

Belchior DCV, Saraiva AS, López AMC, Scheidt GN (2017) Impactos de agrotóxicos sobre o meio ambiente e a saúde humana. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília 34(1): 135-151.

Boaventura MAD et al. (2002) Limonoids from *Melia azedarach*. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 13 (2): 151-157.

Brasil. Ministério da Saúde (2009) RENISUS: Relação Nacional de Plantas Mediciniais de Interesse ao SUS. Brasília, DF.

Campos EVR, Silva VCFNP, Fraceto LF (2019) Botanical insecticides for pest control: their potential and essential oils as larvicidal against mosquitoes. *Industrial Crops and Products* 139: 111526.

Carneiro FF et al. (Orgs.) (2015) Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Rio de Janeiro: EPSJV/Expressão Popular.

Carvalho GHF, Silva HHG, Cunha LC, Silva IG (2011) Atividade inseticida do extrato bruto etanólico de *Persea americana* (Lauraceae) sobre larvas e pupas de *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae). *Revista de Patologia Tropical* 40 (4): 348–361.

CEPEA (2019) Mensuração econômica da incidência de pragas e doenças no Brasil: uma aplicação para as culturas de soja, milho e algodão. Piracicaba: ANDEF.

Chandler D, Bailey AS, Tatchell GM, Davidson G, Greaves J, Grant WP (2011) The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 366 (1573): 1987–1998.

Chelotti J (2025) Monoculturas de soja e agrotóxicos no Brasil: geopolítica e sustentabilidade em conflito. *Inter Ação* 15 (3): e86306.

Corrêa JCR, Salgado HRN (2011) Atividade inseticida das plantas e aplicações: revisão. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais* 13 (4): 500-506.

Costa FA, Pereira JLE (2024) Efeito sinérgico de formulações binárias de extratos de *Azadirachta indica* e *Syzygium aromaticum* no controle de *Spodoptera frugiperda*. *Pest Management Science* 80 (5): 1120-1128.

Costa GO, Profeti D, Parreira LA, Profeti LPR (orgs.) (2024) Inovação verde: avanço em agroquímicos sustentáveis. In: *Tópicos Especiais em Agroquímica IV*. Alegre: PPGAQ-UFES. p. 119–140.

Costa JN, Campos MPO, Pereira MFS, David JP, David JM (2011) Potencial inseticida de *Casearia sylvestris* (Salicaceae) e *Annona cacans* (Annonaceae) do Cerrado sobre *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais* 13 (4): 433–438.

Dequech STB, Sausen CD, Lima CG, Egewarth R (2008) Efeito de extratos de plantas com atividade inseticida no controle de *Microtheca ochroloma* Stal (Col.: Chrysomelidae), em laboratório. *Biotemas* 21 (1): 41–46.

Dutra RMS, Souza MMO (2017) Impactos negativos do uso de agrotóxicos à saúde humana. *Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde* 13 (24): 127-140.

Embrapa (2017) Manejo integrado de pragas. Brasília, DF: Embrapa.

Embrapa (2019) Bioinseticidas: uma alternativa no controle de pragas. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia.

Embrapa (2024) Agricultura sustentável: defensivos naturais e tecnologias para o campo. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 22 jul. 2025.

Estrada MA, Schvartz G, Bressan G, Pires DCG, Souza-Estrada DL, Souza-Estrada EA (2019) Diversidade, riqueza e abundância da macrofauna em áreas sob cultivo orgânico e convencional. *Acta Biológica Catarinense* 6 (4): 87–103.

FAO (2021) FAOSTAT: Fertilizers by nutrient. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAPESP (2023) Nanotecnologia no campo: defensivos naturais com maior eficácia. Disponível em: <https://by.fapesp.br>. Acesso em: 22 jul. 2025.

Fernandes GW, Lima APS (2025) Efeitos subletais de inseticidas botânicos sobre o comportamento de forrageio de polinizadores nativos: um estudo de caso com *Melipona scutellaris*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 285: e114567.

Ferreira MA (2024) Ação inseticida do extrato de *Ageratum conyzoides* sobre insetos fitófagos. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônoma) – Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira, Universidade Estadual Paulista, Registro, 41 f.

Ferreira PMP, Carvalho AFU, Farias DF, Cariolano NG, Melo VMM, Queiroz MGR, Martins AMC, Machado-Neto JG (2009) Larvicidal activity of the water extract of *Moringa oleifera* seeds against *Aedes aegypti* and its toxicity upon laboratory animals. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 81 (2): 207–216.

Figueiredo CFV de, Machado TS, Formiga ACS de, Bezerra Junior E, Florêncio RR (2023) Pesticidas na agricultura. *Revista Ouricuri* 13 (2): 3–18.

Fioravanti C (2016) A maior diversidade de plantas do mundo. *Revista Pesquisa FAPESP*, ed. 241, mar. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/a-maior-diversidade-de-plantas-do-mundo/>. Acesso em: 17 out. 2025.

Freires STS (2022) Utilização de inseticidas naturais na agricultura: uma revisão. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Petrolina.

Fundação Heinrich Böll (2021) Atlas dos agrotóxicos: fatos e números sobre os pesticidas no Brasil e no mundo. 2. ed. Rio de Janeiro.

Gallo D, Nakano O, Silveira Neto S, Carvalho RP, Baptista GC, Berti Filho E, Parra JRP, Zucchi RA, Alves SB, Vendramim JD (2002) Entomologia Agrícola. Piracicaba: FEALQ.

Gonzaga AD et al. (2007) Toxidez de três concentrações de Erva-de-rato (*Palicourea marcgravii* St. Hil.) e manipueira (*Manihot esculenta* Crantz) em pulgão verde dos citros (*Aphis spiraeicola* Patch) em casa de vegetação. Revista Brasileira de Biociências. 5 (supl. 2): 537-539.

Grand View Research (2023) Biopesticides Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Bioherbicides, Bioinsecticides, Biofungicides), By Application (Seed Treatment, Foliar Spray), By Crop, By Region, And Segment Forecasts, 2023 - 2030. San Francisco: Grand View Research.

Gupta R, Dikshit A (2014) Bio-deterioration of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) by associated fungi and their control through essential oil of *Callistemon lanceolatus* (Sm.) Sweet. Journal of Food Science and Technology, 51(11): 3433–3438.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2025) LSPA: Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-da-producao-agricola.html>. Acesso em: 16 out. 2025.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA (1996) Instrução Normativa nº 84, de 15 de outubro de 1996. Dispõe sobre o controle ambiental de produtos agrotóxicos e afins. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 out.

Isman MB (2020) Botanical insecticides in the twenty-first century: fulfilling their promise? Annual Review of Entomology, 65: 233–249.

Kah M, Korman T, Tiefenbacher A, Hofmann T (2019) Nano-enabled strategies to enhance crop nutrition and protection. Nature Nanotechnology, 14(6): 532–540.

- Kim SI et al. (2003) Insecticidal activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus chinensis* Journal of Stored Products Research, v.39, p.293-303.
- Kogan M (1994) Plant resistance in pest management. In: Metcalf RL, Luckmann WH. (Eds.). Introduction to Insect Pest Management. 3. ed. New York: John Wiley & Sons. p. 73-128.
- Lima VMGC, Silva LB (2023) Efeitos de óleos de girassol, milho e canola na biologia de *Zabrotes subfasciatus* em feijão-fava. Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente 4 (2).
- Machado LA, Silva VB, Oliveira MD (2007) Uso de extratos vegetais no controle de pragas em horticultura. *Biológico* 69 (2): 103-106.
- Machado LC, Santos Junior HJG, Celestino FN, Mauri LVR, Kaiser IS (2020) Toxicidade de óleos minerais e vegetais no manejo de *Planococcus citri*. *Revista Acta Ambiental Catarinense*, 17(1): 63–72.
- MAPA (2008) Instrução Normativa SDA nº 2, de 3 de janeiro de 2008. Estabelece os procedimentos para registro de produtos fitossanitários com uso aprovado para agricultura orgânica. Diário Oficial da União, Brasília, DF.
- Marchiori JJP, Almeida FS (2020) Agricultura. In: Almeida FS. (Org.). Impactos Ambientais de Grandes Empreendimentos no Brasil. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Autografia.
- Maulidya A, Asih MBS, HB AH W (2023) Chemical compounds and effectivity of *Eucalyptus grandis* oil against *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1208(1): 012008.
- Mazzonetto F, Vendramim JD (2003) Efeito de pós de origem vegetal sobre *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae) em feijão armazenado. *Neotropical Entomology* 32: 145-149.
- Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group (2009) Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7): e1000097.
- Mordue (Luntz) AJ, Nisbet AJ (2000) Azadirachtin from the neem tree *Azadirachta indica*: its action against insects. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil* 29 (4): 615-632.

Moura GS, Silva VA, Nascimento LH (2021) Uso de extratos vegetais como alternativa no controle de pragas agrícolas. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 16 (3): 461-470.

Niemeyer HM (1988) Hydroxamic acids (4-hydroxy-1,4-benzoxazin-3-ones), defence chemicals of cereals. *Phytochemistry* 27 (11): 3349-3358.

Oliveira CM, Santos MAC (2022) Carapa guianensis, andiroba. In: Coradin L et al. (Ed.). *Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Norte*. Brasília, DF: MMA.

Pacheco JP, Estrela JLV, Fazolin M, Catapan MI, Souza ALT, Pereira BFS (2021) Plantas com potencial inseticida: enfoque em espécies amazônicas. *Ciência Florestal*, 31(2): 974–997.

Pádua EMM de (2019) *Metodologia da pesquisa: abordagem teórico-prática*. 15ª ed. Campinas: Papirus.

Pascual-Villalobos MJ, Cantó-Tejedor FJ (2000) Activity of essential oils from aromatic plants of the province of Murcia (Spain) against *Sitophilus oryzae* (L.). *Journal of Stored Products Research*, 36(1): 91–98.

Paz GD, Rodrigues MF, Almeida KC (2023) Panorama do uso de agrotóxicos no Brasil: consumo, impactos e alternativas. *Revista Ciência e Sustentabilidade* 9 (1): 22-35.

Peres F, Moreira JC, Silva JR (2019) Intoxicações por agrotóxicos no Brasil: números e impactos à saúde pública. *Cadernos de Saúde Pública* 35 (2): e00194618.

Picanço MC (2010) *Manejo Integrado de Pragas*. Viçosa: UFV.

Pignati WA et al. (2017) Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*. 22 (10): 3281-3293.

Pinheiro S, Costa PRR (1995) Piretróides: estrutura química – atividade biológica. *Química Nova*, 18(4): 379–389.

Pires SS, Pires MS, Mendonça R de A, Souza VA de, Freitas VLC, Pereira FM, Silva GN da (2021) Toxicidade de óleos essenciais sobre abelhas (*Apis mellifera* L.) (Hymenoptera: Apidae): revisão. *Research, Society and Development* 10 (15): e510101522964.

- Rahayu S, Kartini ERS, Wardhani T, Sari FN, Indrayani AD (2023) Toxicity of clove oil nanoparticles against diamondback moth *Plutella xylostella* (L.). *Serangga*, v. 28, n. 1, p. 1-13.
- Regnault-Roger C, Vincent C, Arnason JT (2012) Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology*. 57: 405-424.
- Ribeiro LP, Vendramim JD, Baldin ELL (2024) Inseticidas botânicos no Brasil: aplicações, potencialidades e perspectivas. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz.
- Rufino MR, Silvino AS, Moro MF (2019) Exóticas, exóticas, exóticas: reflexões sobre a monótona arborização de uma cidade brasileira. *Rodriguésia*, 70: e03562017.
- Sampieri RH, Collado CF, Lucio MPB (2013) Metodologia de pesquisa. 5ª ed. Porto Alegre: Penso.
- Scalon SPQ, Santos GM, Lima TP (2021) Extratos vegetais no controle de insetos-praga: potencial e limitações. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 23(2): 173–180.
- Scott IM, Jensen H, Philogène BJR, Arnason JT (2008) A review of *Piper* spp. (Piperaceae) phytochemistry, insecticidal activity and mode of action. *Phytochemistry Reviews*, 7(1): 65–75.
- Shimada BS, Simon MV, Rodrigues GG, Júnior JBD (2021) O manejo sustentável de pragas na agricultura. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente*, 2(3): 82.
- Silva CB (2019) Potencial biotecnológico e farmacológico de *Annona coriacea* Mart. (Annonaceae). Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal do Piauí, Teresina.
- Silva WA, Emiliano PHW, Silva KG, Melo GMA, Novais CCS, Santos IMS, Silva JG, Estevam RAO, Mousinho KC (2019) Uso de óleos essenciais na proteção contra o *Aedes aegypti*: revisão de literatura. In: Costa EM (org.) *Bases conceituais da saúde* 4. Ponta Grossa: Atena Editora. p. 143–150.
- Siqueira IO, Carniatio I, Ozorio BV (2023) O desenvolvimento sustentável na agricultura: tendências e desafios. *Mobilização para Mudanças Climáticas: Agendas e Desafios*, v. 5, n. 3, p. 1-10.

Souza RC, Silva AGO, Monteiro RRC, Silva ENS, Oliveira APSSL, Silva MGP, Almeida RMCG, Oliveira MCF (2021) Nanoencapsulation of neem (*Azadirachta indica*) oil: characterization and application against *Aedes aegypti* larvae. *Industrial Crops and Products*, v. 172, p. 114017.

Souza RM (2019) Utilização da nanoemulsão lipídica no tratamento experimental da leishmaniose cutânea. Tese (Doutorado em Doenças Infecciosas e Parasitárias) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Spletozer AG, Santos CR, Sanches LA, Garlet J (2021) Plantas com potencial inseticida: enfoque em espécies amazônicas. *Ciência Florestal*, v. 31, n. 2, p. 974-997.

Thomazini MJ, Thomazini APBW (2002) A toxicidade de inseticidas para abelhas. *Ciência Rural*, v. 32, n. 4, p. 719-725.

Torres AL, Barros R, Oliveira JV (2001) Efeito de extratos aquosos de plantas no desenvolvimento de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *Neotropical Entomology*, v. 30, n. 1, p. 151-156.

Triplehorn CA, Johnson NF (2011) *Estudo dos insetos*. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning.

Vendramim JD, Guzzo EC (2009) Táticas de controle: resistência de plantas. In: *Manejo integrado de pragas*. Viçosa: UFV.

Vicenço C, Santos MG, Filho WSS, Penariol GCL, Dourado IARS, Costa MAAS, Leite GALC (2020) Bioactivity of *Schinus molle* L. and *Schinus terebinthifolia* Raddi essential oils on *Anticarsia gemmatalis* (Hübner 1818). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 63, p. e20200111.

WFO Plant List (2025) WFO Plant List: snapshots of the taxonomy. [S.l.]: World Flora Online. Disponível em: <https://wfoplantlist.org/>. Acesso em: 17 out. 2025.

Welbert AR et al. (2024) Eficácia de bioinseticida formulado com óleo essencial de *Cymbopogon nardus* nanoencapsulado no controle de *Aedes aegypti*. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*. 7 (2): e65318.