

INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
CENTRO DE EXCELÊNCIA EM BIOINSUMOS
COORDENAÇÃO DE CAPACITAÇÃO EM BIOINSUMOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *lato sensu* EM BIOINSUMOS
IF GOIANO CAMPUS HIDROLÂNDIA

Max Willian Tavares de Almeida

MONOGRAFIA

Hidrolândia, GO

2026

Max Willian Tavares de Almeida

**ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA DA LITERATURA CIENTÍFICA SOBRE
CONTROLE BIOLÓGICO DE INSETOS-PRAGA EM SISTEMAS AGRÍCOLAS**

Monografia apresentada à banca examinadora do curso de pós-graduação *lato sensu* em Bioinsumos do Instituto Federal Goiano como exigência parcial para obtenção do título de especialista em Bioinsumos.

Orientador: Prof^ª. Dr. Lilian Rosana Silva Rabelo

Hidrolândia, GO

2026

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

A447 Tavares de Almeida, Max Willian
 ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA DA LITERATURA
 CIENTÍFICA SOBRE CONTROLE BIOLÓGICO DE
 INSETOS-PRAGA EM SISTEMAS AGRÍCOLAS / Max
 Willian Tavares de Almeida. Hidrolândia 2026.

49f. il.

Orientadora: Prof^a. Dra. Lilian Rosana Silva Rabelo.
Tcc (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de 1130426 -
Especialização em Bioinsumos - Hidrolândia (Campus
Hidrolândia).

I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- ☐ Tese (doutorado)
☐ Dissertação (mestrado)
☒ Monografia (especialização)
☐ TCC (graduação)

- ☐ Artigo científico
☐ Capítulo de livro
☐ Livro
☐ Trabalho apresentado em evento

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Max Willian Tavares de Almeida

Matrícula:

2024111304260010

Título do trabalho:

ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA DA LITERATURA CIENTÍFICA SOBRE CONTROLE BIOLÓGICO DE INSETOS-PRAGA EM SISTEMAS AGRÍCOLAS

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☐ Não ☒ Sim, justifique:

O documento será submetido para publicação em revista científica especializada, e sua divulgação prévia pode comprometer o processo de submissão.

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 31 / 12 / 2028

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

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

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

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

Hidrolândia-GO

06 / 05 / 2026

Local

Data



Documento assinado digitalmente

MAX WILLIAN TAVARES DE ALMEIDA

Data: 06/05/2026 15:14:19-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Documento assinado digitalmente

LILIAN ROSANA SILVA RABELO

Data: 06/05/2026 16:07:45-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 15/2026 - NE-HID/GE-HID/CMPHID/IFGOIANO

Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) 3 CEBIO/IFGoiano

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DECURSO

Aos 30 dias do mês de março de dois mil e vinte e seis, às 15h30min, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof.^a Dra. Lilian Rosana Silva Rabelo (orientadora), Prof.^a Dra. Aline Assis Cardoso (membro interno) e Prof. Dr. Marco Antônio Moreira de Freitas (membro interno), para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado "Análise cienciométrica da literatura científica sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas" de Max Willian Tavares de Almeida, estudante do curso de Pós-graduação lato sensu em Bioinsumos do IF Goiano - Campus Hidrolândia, sob Matrícula nº 2024111304260010. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição do(a) candidato(a) pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do(a) estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Campus Hidrolândia, 30 de março de 2026.

(Assinado eletronicamente)

Dra. Lilian Rosana Silva Rabelo

Orientadora

(Assinado eletronicamente)

Dra. Aline Assis Cardoso

Membro da Banca Examinadora

(Assinado eletronicamente)

Dr. Marco Antônio Moreira de Freitas

Membro da Banca Examinadora

Documento assinado eletronicamente por:

- **Lilian Rosana Silva Rabelo**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 30/03/2026 17:00:54.
- **Aline Assis Cardoso**, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO , em 30/03/2026 17:07:08.
- **Marco Antonio Moreira de Freitas**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 30/03/2026 17:26:05.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 30/03/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 805431

Código de Autenticação: b9adeda70e



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Hidrolândia

Estrada São Brás KM 04 Zona Rural, SN, Zona Rural, HIDROLANDIA / GO, CEP 75340-000

(62) 9112-8719

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Bioinsumos pela oportunidade de participar da especialização e pelo suporte acadêmico oferecido ao longo da formação. Expresso também minha gratidão ao Instituto Federal Goiano (IF Goiano) pela iniciativa e organização da turma de especialização da qual tive a oportunidade de participar. Agradeço à Prof^ª. Dr^ª. Lilian Rosana Silva Rabelo por aceitar me orientar neste trabalho, bem como pela paciência e compreensão ao longo do processo de desenvolvimento desta pesquisa. Reconheço ainda o papel das agências de fomento CAPES, CNPq e FAPEG, que, mesmo sem concessão direta de bolsa neste trabalho, contribuem de forma fundamental para o fortalecimento da pesquisa científica e para a formação de recursos humanos qualificados no Brasil.



CEBIO
Centro de Estudos em Bioinsumos



1. BIOGRAFIA DO ALUNO

Minha trajetória acadêmica e profissional tem sido guiada pelo interesse em compreender os processos naturais e contribuir para a conservação da biodiversidade. Sou graduado em Ciências Biológicas, mestre em Recursos Naturais do Cerrado e doutor em Ecologia e Evolução, com formação voltada ao estudo da biodiversidade, sistemática, biogeografia, modelagem ecológica e recursos genéticos. Ao longo da minha formação científica, busquei compreender padrões de diversidade biológica e lacunas de conhecimento relevantes para a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais.

Atualmente sou servidor do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), onde atuo na área de monitoramento e gestão ambiental. Já participei de ações de prevenção e combate a incêndios florestais no âmbito do Prevfogo, trabalhando com Manejo Integrado do Fogo no Cerrado. Atualmente exerço a função de chefe da Equipe de Monitoramento e Informações Ambientais (EMI) no estado de Goiás, utilizando geotecnologias e inteligência ambiental para apoiar a fiscalização e a gestão territorial. Possuo também especializações em Perícia Criminal e Inteligência de Estado, áreas que complementam minha atuação profissional na interface entre ciência, conservação da biodiversidade e gestão ambiental.

2. RESUMO GERAL

O manejo de insetos-praga constitui um dos principais desafios para a sustentabilidade da produção agrícola, especialmente diante da necessidade de reduzir os impactos ambientais associados ao uso intensivo de pesticidas sintéticos. Nesse contexto, o controle biológico tem se consolidado como uma alternativa relevante dentro das estratégias de manejo integrado de pragas, baseando-se no uso de inimigos naturais e microrganismos entomopatogênicos para a regulação de populações de pragas em agroecossistemas. O desenvolvimento de biopesticidas e o avanço das pesquisas nessa área têm ampliado o interesse científico pelo tema, resultando em aumento significativo da produção acadêmica sobre controle biológico em diferentes sistemas agrícolas. Entretanto, grande parte desse conhecimento encontra-se dispersa na literatura científica, dificultando a identificação de padrões e tendências de pesquisa. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão sistemática com abordagem cienciométrica da literatura científica sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas. As análises foram conduzidas a partir de artigos científicos indexados nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*, utilizando ferramentas de análise bibliométrica no ambiente R. Os resultados evidenciaram crescimento consistente da produção científica no período analisado, com destaque para Estados Unidos, China e Brasil como principais países produtores. Observou-se a predominância de microrganismos entomopatogênicos, como *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, e de parasitoides do gênero *Trichogramma* como principais agentes de biocontrole investigados. Além disso, a literatura se organiza em eixos temáticos relacionados à biotecnologia de biopesticidas, à ecologia aplicada e ao Manejo Integrado de Pragas. Esses resultados contribuem para a compreensão da evolução da pesquisa em controle biológico, permitindo identificar lacunas de conhecimento e orientar futuras investigações voltadas ao desenvolvimento de estratégias mais sustentáveis de manejo de pragas na agricultura.

Palavras-chave: Controle biológico; Manejo integrado de pragas; Biopesticidas; Ciencimetria.

3. GENERAL ABSTRACT

The management of insect pests is one of the main challenges to the sustainability of agricultural production, especially given the need to reduce the environmental impacts associated with the intensive use of synthetic pesticides. In this context, biological control has established itself as a relevant alternative within integrated pest management strategies, based on the use of natural enemies and entomopathogenic microorganisms to regulate pest populations in agroecosystems. The development of biopesticides and advances in research in this area have increased scientific interest in the topic, resulting in a significant increase in academic output on biological control in different agricultural systems. However, much of this knowledge is scattered throughout the scientific literature, making it difficult to identify research patterns and trends. In this context, the present study aimed to conduct a systematic review with a scientometric approach of the scientific literature on biological control of insect pests in agricultural systems. The analyses were conducted using scientific articles indexed in the *Web of Science* and *Scopus* databases, employing bibliometric analysis tools in the R environment. The results showed consistent growth in scientific output during the analyzed period, with the United States, China, and Brazil standing out as the leading producer countries. A predominance of entomopathogenic microorganisms, such as *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*, and parasitoids of the genus *Trichogramma* was observed as the main biocontrol agents investigated. Furthermore, the literature is organized into thematic areas related to biopesticide biotechnology, applied ecology, and Integrated Pest Management. These results contribute to understanding the evolution of research in biological control, allowing for the identification of knowledge gaps and guiding future investigations aimed at developing more sustainable pest management strategies in agriculture.

Keywords: Biological control; Integrated pest management; Biopesticides; Scientometrics.

4. LISTA DE TABELAS E ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma do processo de seleção dos artigos utilizados na análise cienciométrica, desde a identificação nas bases de dados até a definição da amostra final de estudos incluídos.....	23
Figura 2 - Evolução temporal da produção científica sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas entre 2016 e 2025. Observa-se tendência geral de crescimento das publicações ao longo do período, com pico em 2021.....	25
Figura 3 - Periódicos mais relevantes na produção científica sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas, considerando os 50 journals com maior número de publicações no período analisado.....	26
Figura 4 - Frequência de publicações por país em estudos sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas, considerando os artigos incluídos na análise cienciométrica.....	27
Figura 5 - Autores mais produtivos na literatura científica sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas, considerando o número de publicações no período analisado.....	28
Figura 6 - Rede de coautoria entre os principais autores que publicaram estudos sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas. Cada nó representa um autor e seu tamanho está relacionado ao número de publicações e as linhas indicam as relações de coautoria entre eles.....	29
Figura 7 - Rede global de colaboração científica entre países em estudos sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas. As conexões representam coautorias entre pesquisadores de diferentes países.....	30
Figura 8 - Rede de coocorrência de palavras-chave em estudos sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas. Os diferentes clusters representam grupos temáticos de pesquisa identificados na literatura científica.....	30
Figura 9 - Nuvem de palavras baseada nas palavras-chave mais frequentes nos estudos sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas. O tamanho das palavras é proporcional à frequência de ocorrência na literatura analisada.....	32
Figura 10 - Mapa temático das palavras-chave utilizadas em estudos sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas, mostrando a relação entre centralidade (relevância do tema) e densidade (grau de desenvolvimento do tema).....	33

Figura 11 - Evolução temática das principais palavras-chave utilizadas em estudos sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas ao longo do período analisado.
.....34

5. LISTA DE SIGLAS

- **CAPES** – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- **CNPq** – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- **FAPEG** – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás
- **IF Goiano** – Instituto Federal Goiano
- **JCR** – Journal Citation Reports
- **MIP** – Manejo Integrado de Pragas
- **PRISMA** – Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
- **WoS** – Web of Science
- **Scopus** – Base de dados científica multidisciplinar
- **R** – Linguagem de programação R
- **JCR** – Journal Citation Reports
- **IF** – Impact Factor (Fator de Impacto)

6. SUMÁRIO

1.	BIOGRAFIA DO ALUNO.....	6
2.	RESUMO GERAL.....	7
3.	GENERAL ABSTRACT	8
4.	LISTA DE TABELAS E ILUSTRAÇÕES.....	9
5.	LISTA DE SIGLAS.....	11
6.	SUMÁRIO	12
7.	INTRODUÇÃO GERAL.....	13
8.	OBJETIVOS.....	15
8.1	Objetivo geral.....	15
8.2	Objetivos específicos.....	15
9.	OPÇÕES DE REVISTA PARA SUBMISSÃO DO ARTIGO	16
10.	CAPÍTULO I: ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA DA LITERATURA CIENTÍFICA SOBRE CONTROLE BIOLÓGICO DE INSETOS-PRAGA EM SISTEMAS AGRÍCOLAS.....	17
10.1	<i>Resumo</i>	17
10.2	<i>Introdução</i>	17
10.3	<i>Material e Métodos</i>	20
	Estratégia de Busca e Seleção de Dados	20
	Gerenciamento e Triagem dos Dados.....	22
	Análise Cienciométrica	23
10.4	<i>Resultados</i>	24
	Evolução temporal da produção científica.....	24
	Periódicos mais relevantes na área.....	25
	Panorama Geográfico da Produção Científica.....	26
	Autores de Referência, Redes de Coautoria e Colaboração Internacional.....	27
	Estrutura Temática e Redes de Coocorrência de Palavras-chave	30
	Análise de Frequência e Nuvem de Palavras-chave	32
	Mapa Temático e Evolução de Paradigmas.....	32
10.5	<i>Discussão</i>	34
10.6	<i>Conclusão</i>	37
10.7	<i>Referências Bibliográficas</i>	38
11.	CONCLUSÃO GERAL	47
12.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS.....	48

7. INTRODUÇÃO GERAL

Os sistemas agrícolas convencionais enfrentam desafios crescentes relacionados à necessidade de aumentar a produtividade das culturas e, simultaneamente, reduzir os impactos ambientais associados aos sistemas de produção (Shah & Wu, 2019; Yang et al., 2024). Entre os fatores bióticos que mais afetam a produção agrícola, os insetos-praga destacam-se por causar perdas significativas em diversas culturas ao redor do mundo (Raven & Wagner, 2021). Tradicionalmente, o manejo dessas pragas tem sido realizado principalmente por meio do uso de pesticidas químicos (Tudi et al., 2021). Embora esses produtos apresentem elevada eficácia no curto prazo, seu uso intensivo tem sido associado a diversos problemas, como o desenvolvimento de resistência em populações de pragas, contaminação ambiental e efeitos negativos sobre organismos não alvo, incluindo inimigos naturais importantes para a regulação biológica das pragas (Barathi et al., 2023; Ahmad et al., 2024).

Diante dessas limitações, o controle biológico tem se consolidado como uma alternativa promissora e ambientalmente mais sustentável para o manejo de insetos-praga em sistemas agrícolas (Deka et al., 2021). Essa estratégia baseia-se no uso de organismos vivos, como predadores, parasitoides e microrganismos entomopatogênicos, capazes de reduzir as populações de pragas de forma natural (Baker et al., 2020; Deka et al., 2021). Nas últimas décadas, o avanço das pesquisas em áreas como ecologia aplicada, microbiologia e biotecnologia tem ampliado o potencial de utilização desses agentes de biocontrole, contribuindo para o desenvolvimento de bioinsumos e para a integração dessas ferramentas em programas de Manejo Integrado de Pragas (Galli et al., 2024; Villavicencio-Vásquez et al., 2025). Como consequência, observa-se um crescimento expressivo da produção científica dedicada ao estudo do controle biológico em diferentes culturas agrícolas e regiões do mundo (Lahlali et al., 2022).

Apesar desse avanço, a produção científica sobre controle biológico encontra-se distribuída em uma ampla diversidade de estudos que abordam diferentes agentes de biocontrole, pragas e sistemas agrícolas (Redlich et al., 2018; Curk & Trdan, 2024). A realização de análises capazes de sintetizar a produção científica disponível e identificar padrões na evolução do conhecimento na área torna-se, portanto, relevante. Estudos de caráter cienciométrico permitem analisar a dinâmica da produção científica, evidenciando os principais agentes de controle biológico investigados, as culturas agrícolas mais

estudadas, bem como os países e grupos de pesquisa que lideram esse campo de investigação (Ikhwani et al., 2024; Sawangproh et al., 2025).

Sob essa perspectiva, o presente estudo busca preencher essa lacuna por meio de uma análise cienciométrica da literatura científica sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas, visando compreender as principais tendências de pesquisa e a evolução do conhecimento científico nessa área.

8. OBJETIVOS

8.1 Objetivo geral

Realizar uma revisão sistemática, com abordagem cienciométrica, da literatura científica sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas, visando identificar padrões, tendências e lacunas de pesquisa no período de 2016 a 2025.

8.2 Objetivos específicos

- Analisar a evolução temporal da produção científica sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas no período de 2016 a 2025.
- Identificar os principais periódicos científicos, países e autores com maior contribuição para a produção científica na área.
- Avaliar os padrões de colaboração científica entre pesquisadores e países envolvidos nas pesquisas sobre controle biológico.
- Identificar os principais agentes de controle biológico investigados na literatura, incluindo microrganismos entomopatogênicos e macro-organismos como parasitoides e predadores.
- Analisar a estrutura temática da literatura científica, com base em palavras-chave e sua organização em eixos de pesquisa relacionados ao manejo biológico de insetos-praga.
- Investigar a evolução temática das pesquisas ao longo do período analisado, destacando tendências emergentes e mudanças no foco das investigações científicas.

9. OPÇÕES DE REVISTA PARA SUBMISSÃO DO ARTIGO

- **Artigo científico**
- **Título:** *Análise cienciométrica da literatura científica sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas.*
- **Revista pretendida para submissão:** Biological Control (Elsevier)
- **Área:** Entomologia aplicada e controle biológico.
- **Classificação Qualis CAPES:** A2.
- **Journal Citation Reports (JCR):** Impact Factor ≈ 3.8 .

10. CAPÍTULO I: ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA DA LITERATURA CIENTÍFICA SOBRE CONTROLE BIOLÓGICO DE INSETOS-PRAGA EM SISTEMAS AGRÍCOLAS

10.1 Resumo

Esse estudo objetivou realizar uma análise cienciométrica da literatura científica sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas no período de 2016 a 2025, com o objetivo de identificar os principais agentes de biocontrole investigados (microrganismos e macro-organismos) e as culturas agrícolas mais estudadas. As buscas foram conduzidas nas bases de dados Web of Science e Scopus, resultando em uma amostra final de 373 artigos originais após triagem baseada no protocolo PRISMA. As análises foram realizadas utilizando o pacote Bibliometrix no ambiente R (interface Biblioshiny), permitindo avaliar indicadores de produção científica, redes de colaboração e estruturas temáticas da literatura. Os resultados evidenciaram crescimento consistente no número de publicações ao longo do período analisado, com destaque para os periódicos *Insects* e *Biological Control* como os mais produtivos. Estados Unidos, China e Brasil destacaram-se como os principais países na produção científica. A análise de coocorrência de palavras-chave e o mapa temático revelaram três eixos principais de investigação: microrganismos entomopatogênicos, com destaque para *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*; inimigos naturais macrobiológicos, como parasitoides do gênero *Trichogramma*; e a integração dessas estratégias em programas de Manejo Integrado de Pragas. Os resultados indicam que o controle biológico constitui um campo científico em expansão, com caráter interdisciplinar, marcado pela convergência entre biotecnologia de bioinsumos e ecologia aplicada, com destaque para o papel do Brasil na produção científica e na aplicação de tecnologias voltadas ao manejo sustentável de pragas.

Palavras-chave: Controle biológico; Insetos-praga; Bioinsumos; Cienciométrica; Manejo Integrado de Pragas.

10.2 Introdução

A produção agrícola mundial enfrenta desafios crescentes associados à intensificação das pressões de pragas, à degradação ambiental e à necessidade de garantir

a segurança alimentar de uma população em constante expansão (Popp et al., 2012). Entre os fatores bióticos que limitam a produtividade agrícola, os insetos-praga destacam-se como um dos principais obstáculos, ocasionando perdas substanciais de rendimento e impactos econômicos significativos (Overton et al., 2021; Leybourne et al., 2024). Estimativas globais indicam que pragas e doenças podem reduzir a produção agrícola em até 40% em determinadas culturas, representando um desafio permanente para a sustentabilidade da agricultura moderna (Oerke, 2005; Savary et al., 2019). No Brasil, estimativas indicam que as perdas anuais associadas a insetos-praga podem superar R\$ 60 bilhões (Oliveira et al., 2014).

Historicamente, o manejo de pragas tem sido baseado no uso intensivo de pesticidas sintéticos, justificado pela sua rápida eficácia e facilidade de aplicação em larga escala (Deguine et al., 2021). No entanto, o emprego indiscriminado desses produtos gerou consequências ambientais e agrônômicas severas, incluindo a evolução da resistência em populações de pragas, a contaminação de solos e recursos hídricos, além de riscos à saúde humana e efeitos deletérios sobre organismos não-alvo (Rani et al., 2020; Pathak et al., 2022; Zhou et al., 2024). Esse cenário impulsionou a busca por estratégias de manejo mais sustentáveis e integradas, visando reduzir a dependência de insumos químicos e promover o equilíbrio ecológico nos agroecossistemas (Angon et al., 2023; Zhou et al., 2024).

Nesse contexto, o controle biológico consolidou-se como um dos pilares fundamentais do Manejo Integrado de Pragas (MIP). Essa abordagem baseia-se na utilização de organismos vivos, como predadores, parasitoides e microrganismos entomopatogênicos, capazes de suprimir populações de insetos-praga e mantê-las abaixo do limiar de dano econômico (Lacey et al., 2015; Koller et al., 2023). Nas últimas décadas, avanços nas áreas de ecologia aplicada, biotecnologia e microbiologia têm ampliado significativamente o escopo e a eficiência dessas estratégias, favorecendo sua aplicação em diferentes culturas agrícolas e sob variadas condições ambientais (Galli et al., 2024; Redlich et al., 2018). No Brasil, esse movimento foi impulsionado pela criação do Programa Nacional de Bioinsumos (Decreto nº 10.375/2020), que estimula a pesquisa, o desenvolvimento e a adoção de tecnologias de base biológica na agricultura. Como reflexo desse cenário, o mercado nacional de bioinsumos tem apresentado crescimento expressivo e posiciona o país entre os principais protagonistas globais na adoção de soluções biológicas para o manejo de pragas (Mascarin et al., 2018; De Lima Andreatta et al., 2025).

Os agentes de controle biológico podem ser classificados, de maneira geral, em macro-organismos e microrganismos. Entre os macro-organismos destacam-se predadores e parasitoides, que atuam diretamente na regulação das populações de insetos em agroecossistemas, além de nematoides entomopatogênicos utilizados em programas de controle biológico aplicado (Lacey et al., 2015; Koller et al., 2023; Villavicencio-Vásquez et al., 2025). Já os agentes microbianos incluem bactérias, fungos e vírus entomopatogênicos, que têm recebido crescente atenção devido à sua especificidade, segurança ambiental e potencial de produção em larga escala (Lacey et al., 2015; Sabbahi et al., 2022). Entre os microrganismos mais amplamente estudados destacam-se espécies como *Bacillus thuringiensis*, *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, amplamente utilizadas no desenvolvimento de bioinseticidas comerciais (Mascarin et al., 2018; McGuire & Northfield, 2020). Paralelamente, parasitoides do gênero *Trichogramma* e predadores generalistas, como coccinelídeos e crisopídeos, continuam sendo amplamente utilizados em programas de controle biológico clássico (Smith, 1996; Navik et al., 2023).

Apesar do expressivo volume de literatura científica sobre controle biológico, o conhecimento disponível frequentemente se encontra disperso entre diferentes culturas agrícolas, grupos de pragas, agentes de biocontrole e regiões geográficas (Droby et al., 2016; Wyckhuys et al., 2023). Muitas pesquisas concentram-se em organismos específicos ou em contextos agrícolas particulares, o que dificulta a obtenção de uma visão integrada das tendências globais de pesquisa (Wyckhuys et al., 2024). Adicionalmente, mudanças nas práticas agrícolas, a intensificação produtiva, a expansão do comércio internacional e o aumento da ocorrência de espécies invasoras têm redefinido as prioridades de investigação na área de manejo de pragas (Skendžić et al., 2021; Zhou et al., 2024).

Considerando esse panorama, abordagens bibliométricas e cienciométricas têm sido amplamente utilizadas para sintetizar grandes volumes de informação científica e compreender a evolução de diferentes áreas do conhecimento (Moral-Munoz et al., 2020). Essas metodologias permitem avaliar quantitativamente a produção científica, identificar redes de colaboração entre pesquisadores, mapear estruturas temáticas e detectar tendências emergentes na literatura (Aria & Cuccurullo, 2017; Oliveira et al., 2019; Moral-Munoz et al., 2020). No campo do controle biológico, análises desse tipo contribuem para identificar os principais agentes de biocontrole investigados, as culturas agrícolas mais estudadas e os padrões geográficos da produção científica, além de evidenciar lacunas de pesquisa (Collinge et al., 2022; Abeijon et al., 2025). Apesar da

existência de revisões que abordam aspectos específicos do controle biológico, como determinados grupos de agentes ou sistemas agrícolas, ainda são relativamente escassos os estudos que realizam análises cienciométricas integrando diferentes tipos de agentes de biocontrole e múltiplas culturas agrícolas (Tariq et al., 2020; Ayaz et al., 2023; Villavicencio-Vásquez et al., 2025). Uma síntese dessa natureza é importante para compreender a evolução recente da área e orientar futuras agendas de pesquisa voltadas ao desenvolvimento de bioinsumos e ao manejo sustentável de pragas.

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo realizar uma análise cienciométrica da literatura científica sobre o controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas no período de 2016 a 2025 com o intuito de identificar padrões, tendências e lacunas de pesquisa. Para isso, busca-se identificar os principais agentes de biocontrole investigados, incluindo microrganismos e macroorganismos, bem como as culturas agrícolas que concentram maior atenção científica. Adicionalmente, analisa-se a evolução temporal da produção científica, os padrões de colaboração entre países e autores e a estrutura temática da literatura. Assim, o estudo contribui para uma compreensão mais abrangente da dinâmica recente da área, subsidiando a identificação de lacunas e a definição de prioridades futuras de pesquisa relacionadas ao avanço dos bioinsumos e ao manejo sustentável de pragas.

10.3 Material e Métodos

Este estudo empregou uma abordagem cienciométrica para investigar a literatura científica sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas. O objetivo principal foi identificar tendências de pesquisa relacionadas aos agentes de controle biológico (microrganismos e macro-organismos) e às principais culturas agrícolas. A metodologia seguiu as diretrizes do protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), adaptadas para estudos bibliométricos, a fim de assegurar transparência, reprodutibilidade e rigor na seleção e análise dos dados (Page et al., 2021).

Estratégia de Busca e Seleção de Dados

As buscas bibliográficas foram conduzidas nas bases de dados internacionais Web of Science (WoS) e Scopus, reconhecidas por sua ampla cobertura multidisciplinar e relevância para análises cienciométricas. O período de busca foi delimitado entre 2016 e 2025, considerando o objetivo de analisar tendências recentes em um campo dinâmico

como o controle biológico e o desenvolvimento de biopesticidas.

As buscas foram realizadas em 26/02/2026, garantindo a inclusão dos registros mais recentes disponíveis até o momento da coleta dos dados. Em ambas as bases, as estratégias de busca foram aplicadas nos campos de título, resumo e palavras-chave (TITLE-ABS-KEY), de modo a assegurar maior abrangência e consistência na recuperação dos estudos relevantes.

Na base Web of Science, a estratégia de busca foi formulada como:

("biological control" OR biocontrol) AND ("insect pest" OR "crop pest")
AND (agriculture OR crop) AND (entomopathogenic OR parasitoid OR predator)

Essa busca resultou em 432 documentos. Para padronizar a amostra, foram considerados apenas artigos científicos originais, reduzindo o total para 360 estudos. Após a aplicação do filtro temporal (2016–2025), obteve-se um conjunto final de 271 artigos.

Na base Scopus, a estratégia de busca seguiu estrutura semelhante, porém com a inclusão de termos adicionais relacionados à aplicação prática dos agentes de controle biológico, conforme descrito a seguir:

("biological control" OR biocontrol) AND ("insect pest" OR "crop pest")
AND (agriculture OR crop) AND (entomopathogenic OR parasitoid OR predator) AND ("field trial" OR "case study" OR "application")

Essa busca resultou em 474 documentos. Assim como na Web of Science, foram considerados apenas artigos científicos originais, totalizando 357 estudos. Após a aplicação do filtro temporal (2016–2025), obteve-se um conjunto final de 242 artigos.

A adoção de estratégias de busca parcialmente distintas entre as bases Web of Science e Scopus constituiu uma decisão metodológica com o objetivo de equilibrar abrangência e especificidade. Enquanto a busca na Web of Science foi estruturada para capturar um panorama mais amplo da literatura, incluindo estudos teóricos e ecológicos, o refinamento aplicado na Scopus buscou fortalecer a amostra com estudos de caráter aplicado, por meio da inclusão de termos como “field trial”, “case study” e “application”. Essa abordagem permitiu contemplar simultaneamente o desenvolvimento conceitual e a aplicação prática do controle biológico.

Entretanto, essa estratégia pode introduzir diferenças na composição dos

conjuntos de dados entre as bases, representando um potencial fonte de viés na análise cienciométrica. Dessa forma, essa limitação foi considerada na interpretação dos resultados, especialmente nas análises de tendências temáticas e de coocorrência de palavras-chave.

Gerenciamento e Triagem dos Dados

Os registros recuperados em ambas as bases foram importados e combinados no gerenciador de referências Zotero, totalizando 513 documentos.

Os critérios de inclusão adotados foram: (i) artigos científicos originais publicados em periódicos revisados por pares; (ii) estudos relacionados ao controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas; e (iii) publicações indexadas nas bases Web of Science e Scopus no período de 2016 a 2025.

Foram excluídos: (i) documentos que não se enquadravam como artigos originais, como revisões, capítulos de livros e editoriais; (ii) estudos relacionados a pragas não agrícolas; (iii) trabalhos focados exclusivamente em controle químico sem componente biológico; e (iv) estudos envolvendo organismos que não pertenciam ao grupo dos insetos-praga.

A triagem dos estudos foi conduzida em cinco etapas sucessivas. Na primeira etapa, foi realizada a identificação e remoção de duplicatas, resultando na exclusão de 47 registros. Na segunda etapa, procedeu-se à exclusão de documentos que não correspondiam a artigos científicos originais, totalizando 454 artigos.

Na terceira etapa, foi realizada a triagem com base nos títulos, avaliando sua adequação ao escopo da pesquisa. Após essa etapa, 239 artigos foram considerados elegíveis, 173 potencialmente elegíveis e 42 foram excluídos.

Na quarta etapa, os resumos dos estudos potencialmente elegíveis foram analisados para confirmação da inclusão. Ao final dessa etapa, obteve-se uma amostra inicial de 376 artigos.

Na quinta etapa, foi realizada uma verificação final da consistência da base de dados, sendo identificados e removidos três artigos publicados em 2026, garantindo a aderência ao período estabelecido. A base final foi composta por 373 artigos científicos, conforme ilustrado na Figura 1.

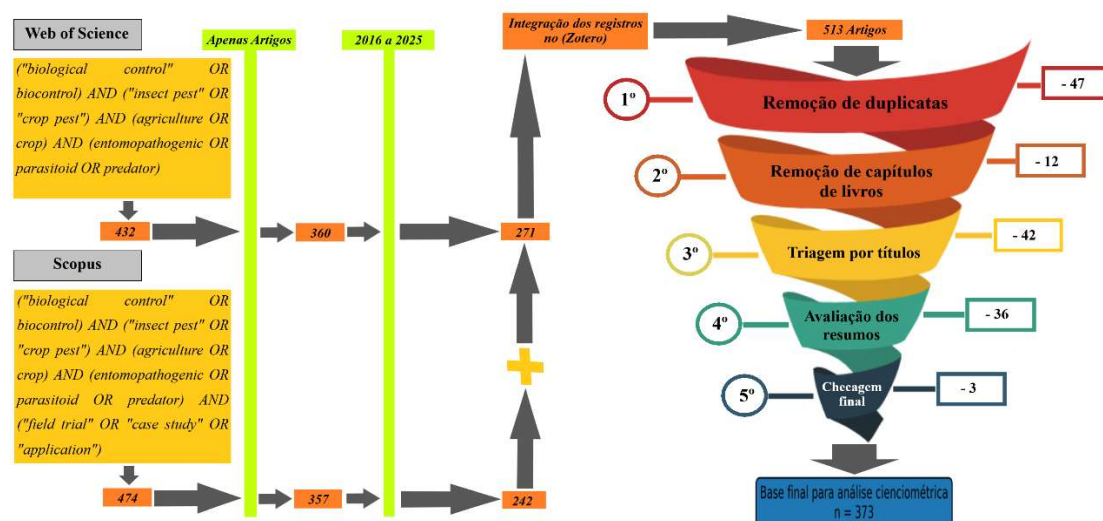


Figura 1 - Fluxograma do processo de seleção dos artigos utilizados na análise cienciométrica, desde a identificação nas bases de dados até a definição da amostra final de estudos incluídos.

Análise Cienciométrica

A análise cienciométrica foi conduzida com base em procedimentos amplamente utilizados em estudos bibliométricos, permitindo mapear padrões de produção científica, redes de colaboração e estruturas temáticas da literatura (Aria & Cuccurullo, 2017; Donthu et al., 2021). As análises foram realizadas utilizando o pacote Bibliometrix no ambiente R, por meio da interface gráfica Biblioshiny.

Os arquivos BibTeX foram importados e convertidos em uma base de dados estruturada, permitindo a padronização de metadados, como autores, instituições e palavras-chave. Procedimentos de limpeza e harmonização terminológica foram aplicados, incluindo a padronização de sinônimos, variações ortográficas e diferentes formas de indexação de termos equivalentes.

Os indicadores analisados foram organizados em categorias analíticas, incluindo: (i) produtividade científica (evolução temporal das publicações), (ii) fontes de publicação (periódicos), (iii) distribuição geográfica (países) e (iv) desempenho de autoria (autores). Também foram analisadas redes de coautoria e padrões de colaboração internacional entre países.

A análise de coocorrência de palavras-chave foi baseada na frequência e associação entre termos fornecidos por autores e indexadores, permitindo identificar padrões temáticos e relações entre conceitos. A identificação dos principais agentes de controle biológico foi realizada a partir da ocorrência de termos associados a microrganismos entomopatogênicos e macro-organismos, como predadores e parasitoides, sendo complementada por interpretação qualitativa dos termos mais

frequentes.

A estrutura temática da área foi investigada por meio da construção de mapa temático e análise de evolução temática. O mapa temático foi elaborado com base nas medidas de centralidade e densidade, permitindo classificar os temas em motores, básicos, emergentes ou em declínio.

Por fim, os resultados quantitativos foram integrados a uma interpretação qualitativa da literatura, possibilitando identificar tendências de pesquisa, lacunas de conhecimento e direções futuras para o desenvolvimento de estratégias de controle biológico e biopesticidas no manejo sustentável de pragas agrícolas.

10.4 Resultados

Evolução temporal da produção científica

A análise da evolução temporal da produção científica revelou um crescimento progressivo e sustentado no número de publicações sobre o controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas entre 2016 e 2025 (Figura 2). O volume anual de artigos variou de 25 a 54, com o ápice registrado em 2021, representando um aumento de aproximadamente 116% em relação ao ano inicial do período analisado. Após esse pico, observou-se a manutenção de um patamar elevado de estudos, com 40, 43 e 47 publicações nos anos de 2022, 2023 e 2024, respectivamente. Esses dados indicam uma tendência de consolidação da área na última década, refletindo o interesse crescente da comunidade científica em alternativas sustentáveis ao manejo químico e a maturação das tecnologias de bioinsumos. A redução numérica observada em 2025 é atribuída ao tempo de latência (delay) de indexação nas bases de dados Scopus e Web of Science para o ano corrente, um fenômeno comum em análises cientiométricas, relacionado ao atraso de indexação das bases de dados, e que não indica, necessariamente, um declínio real na produção global (Kumpulainen & Seppänen, 2022; Adeosun, 2024; Gusenbauer, 2024).

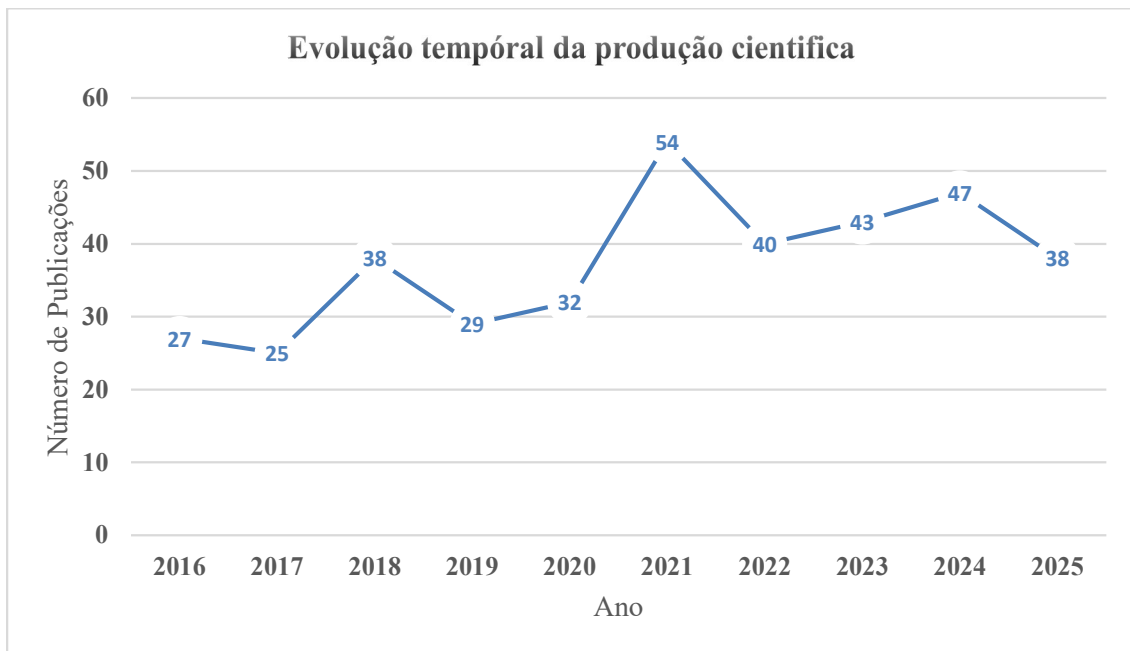


Figura 2 - Evolução temporal da produção científica sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas entre 2016 e 2025.

Periódicos mais relevantes na área

A produção científica na área apresenta uma concentração significativa em um núcleo de revistas especializadas, o que sugere um campo de pesquisa bem definido e com canais de comunicação consolidados (Figura 3). O periódico *Insects* destacou-se com o maior volume de publicações (31 artigos), seguido por *Biological Control* (21 artigos). A liderança da revista *Insects* pode ser atribuída ao seu modelo de acesso aberto e à agilidade no processo de revisão por pares, enquanto *Biological Control* mantém-se como um dos periódicos tradicionais e especializados na área. Outros títulos de destaque incluem *Biocontrol Science and Technology*, *Journal of Applied Ecology* e *Pest Management Science*. A presença expressiva de periódicos focados em ecologia aplicada e manejo integrado demonstra que o controle biológico é investigado tanto sob a ótica da eficácia técnica e agrônômica quanto sob a perspectiva da sustentabilidade ambiental e da prestação de serviços ecossistêmicos (Perović et al. 2018; Shields et al. 2019; Galli et al. 2024).

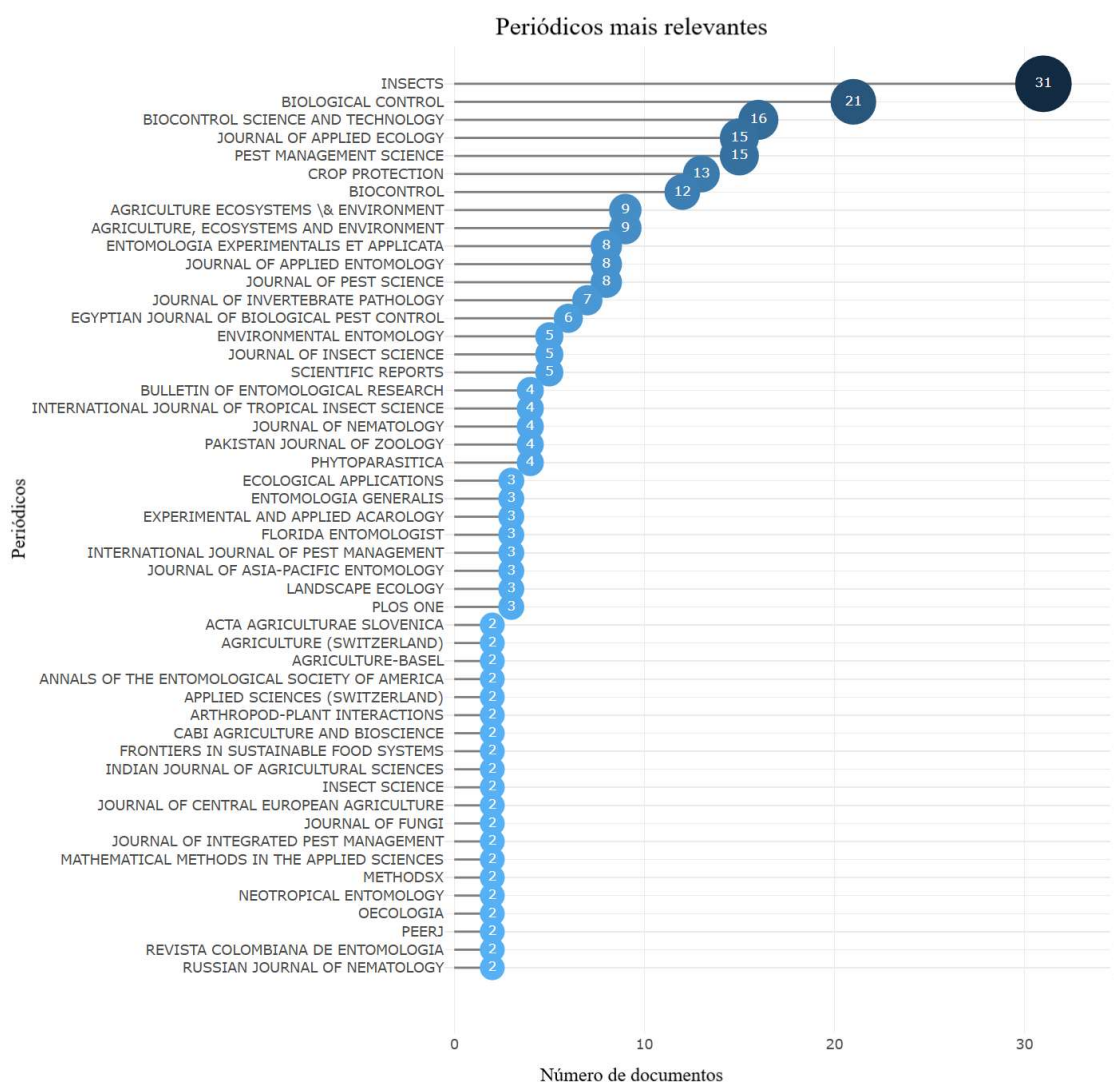


Figura 3 - Periódicos mais relevantes na produção científica sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas, considerando os 50 journals com maior número de publicações no período analisado.

Panorama Geográfico da Produção Científica

A distribuição geográfica das publicações evidencia a liderança de países com forte tradição em pesquisa agrícola e robustos investimentos em biotecnologia (Figura 4). Os Estados Unidos ocupam a primeira posição (171 ocorrências de autoria), seguidos pela China (142) e pelo Brasil (64). Esses valores refletem a contagem de países associados aos autores dos artigos e podem exceder o número total de publicações analisadas. A liderança norte-americana e chinesa reflete o massivo aporte financeiro desses países em programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP). No caso chinês, nota-se um foco crescente em pragas de grandes culturas e no desenvolvimento de bioinseticidas microbianos. O Brasil, consolidando-se na terceira posição global, atua como um protagonista indiscutível no cenário de bioinsumos. Esse desempenho é impulsionado

pela vasta biodiversidade tropical do país e por políticas públicas estratégicas, como o Programa Nacional de Bioinsumos (Decreto nº 10.375/2020), que fomenta ativamente a pesquisa e a adoção de tecnologias de base biológica no campo. Outros países com produção relevante incluem França, Itália, Índia e Alemanha, indicando que a pesquisa em biocontrole é uma prioridade estratégica tanto para potências agrícolas consolidadas quanto para economias emergentes.

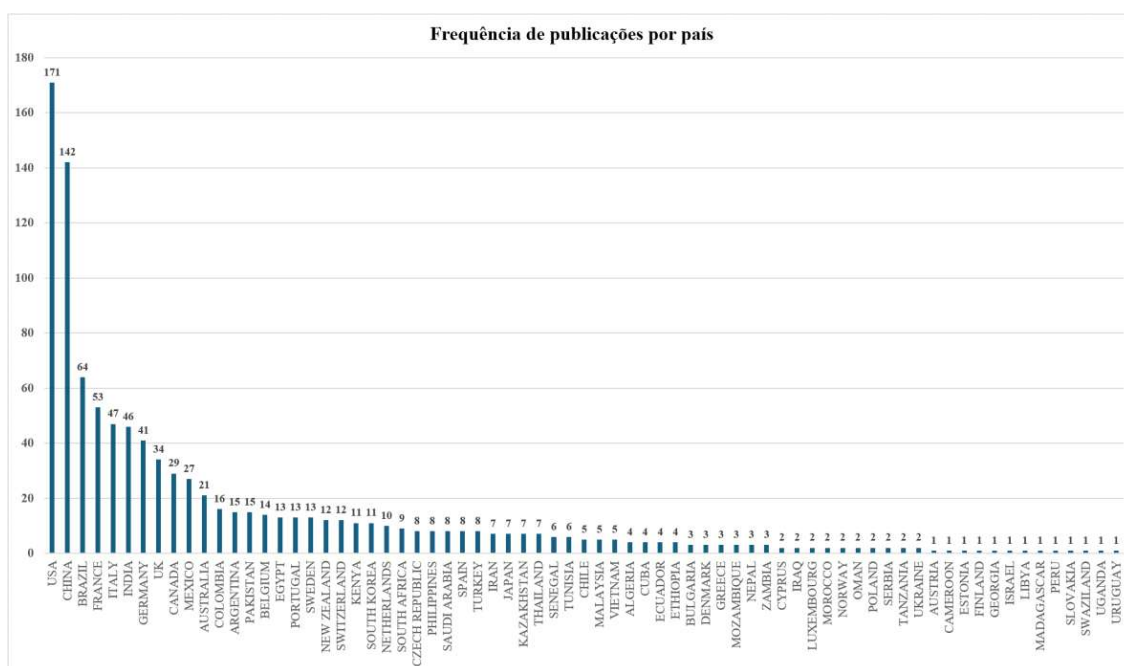


Figura 4 - Frequência de publicações por país em estudos sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas, considerando os artigos incluídos na análise cienciométrica.

Autores de Referência, Redes de Coautoria e Colaboração Internacional

A análise de autoria revelou uma rede de pesquisadores altamente produtivos e influentes (Figura 5). Lu, Yanhui (Institute of Plant Protection, China) destacou-se com o maior número de publicações (6 artigos), com pesquisas focadas na ecologia e manejo de pragas em sistemas de grandes culturas. Outros autores de renome internacional incluem Tscharrntke, Teja (Alemanha), Roversi, Pio Federico (Itália) e Gurr, Geoff M. (Austrália).

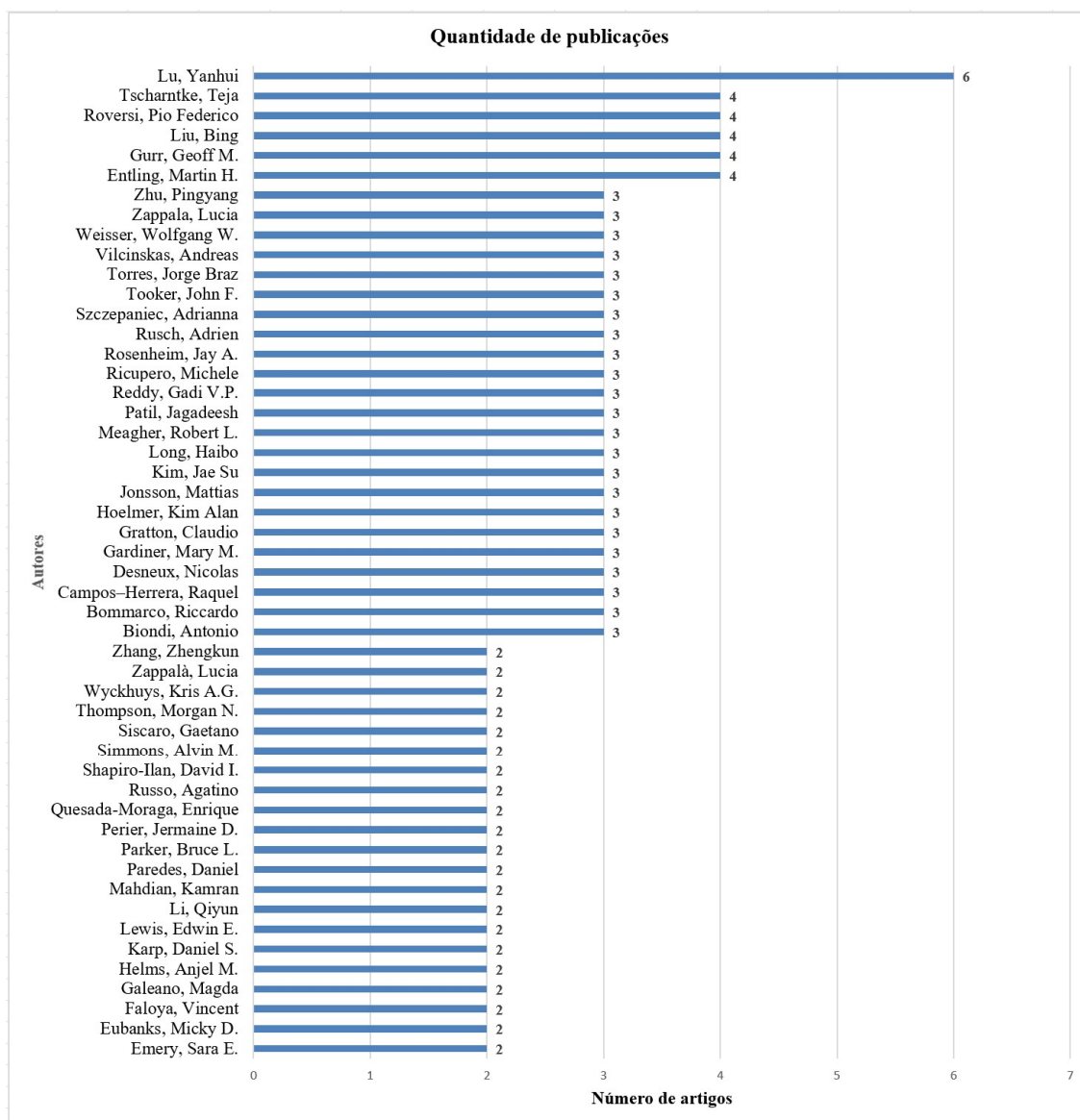


Figura 5 - Autores mais produtivos na literatura científica sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas, considerando o número de publicações no período analisado.

A estrutura dessas interações foi evidenciada pela rede de coautoria (Figura 6), que revelou clusters de colaboração densos e bem definidos. O grupo liderado por Lu, Y. apresenta fortes conexões com pesquisadores chineses e australianos, com foco em estudos de eficácia em condições de campo. Por sua vez, o cluster associado a Tscharntke, T. reúne uma rede de pesquisadores europeus e norte-americanos voltada à investigação da complexidade da paisagem e de seus efeitos sobre a biodiversidade e o controle biológico. Também foi identificado um cluster estruturado em torno de Hoelmer, K. A., que inclui colaborações com pesquisadores como Wang, X., Desneux, N., Colazza, S. e Conti, E., além de um agrupamento envolvendo Zhang, X., Sun, Y., Ge, F. e Gurr, G. M. Outros clusters menores também foram observados, como o grupo centrado em Roversi,

P. F., indicando a presença de múltiplos núcleos de pesquisa dedicados ao estudo do controle biológico. De forma geral, essas redes de colaboração são essenciais para a validação de tecnologias em diferentes condições edafoclimáticas e para o enfrentamento de pragas de distribuição transfronteiriça, evidenciando o caráter colaborativo e global da pesquisa em controle biológico (Ollivier et al. 2020; Bekee et al. 2024).

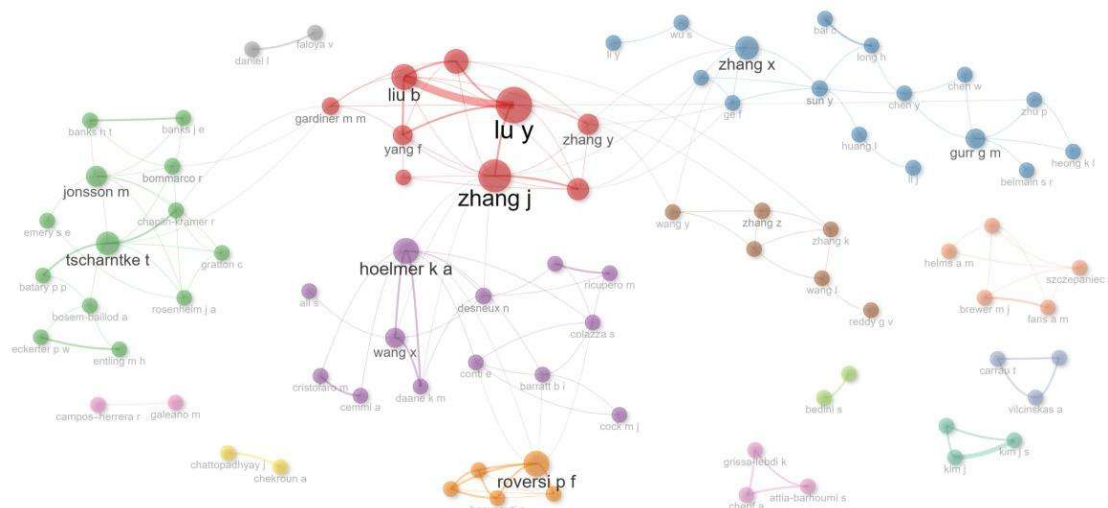


Figura 6 - Rede de coautoria entre os principais autores que publicaram estudos sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas. Cada nó representa um autor e seu tamanho está relacionado ao número de publicações e as linhas indicam as relações de coautoria entre eles.

Expandindo a análise para a colaboração internacional (Figura 7), observa-se que a rede global é estruturada em torno de fortes conexões entre os Estados Unidos e a China, que atuam como polos centrais na produção científica em ciências agrárias. O Brasil também ocupa posição relevante nessa rede, mantendo parcerias consolidadas com os Estados Unidos e países europeus, além de integrar uma rede de cooperação em expansão na América Latina. No caso brasileiro, as colaborações mais frequentes incluem parcerias com Colômbia e Itália, além de conexões adicionais com Argentina, Canadá, França e Reino Unido. Essas interações transnacionais desempenham papel importante na validação de tecnologias em diferentes condições edafoclimáticas e no enfrentamento de pragas quarentenárias e invasoras, reforçando o caráter global e colaborativo da pesquisa em controle biológico (Harms et al. 2021; Zhao et al. 2023).

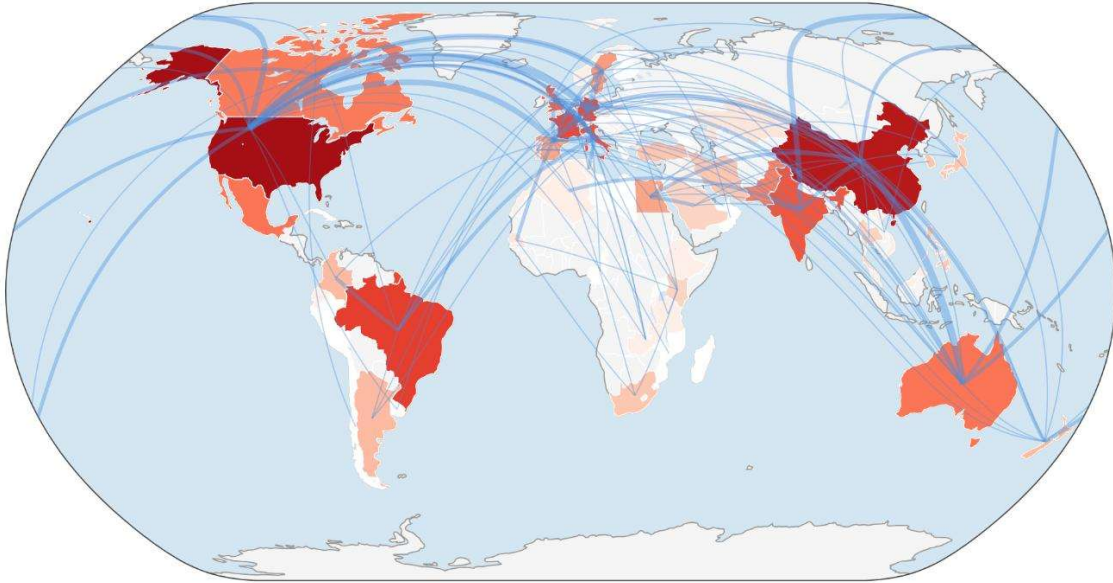


Figura 7 - Rede global de colaboração científica entre países em estudos sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas. Os nós representam os países e seu tamanho é proporcional ao número de publicações, enquanto as conexões indicam relações de coautoria entre países, sendo a espessura das linhas proporcional à intensidade da colaboração científica.

Estrutura Temática e Redes de Coocorrência de Palavras-chave

A análise da rede de coocorrência de palavras-chave (Figura 8) revelou a organização da literatura científica em três clusters temáticos principais, que refletem as diferentes abordagens tecnológicas e ecológicas do controle biológico contemporâneo.

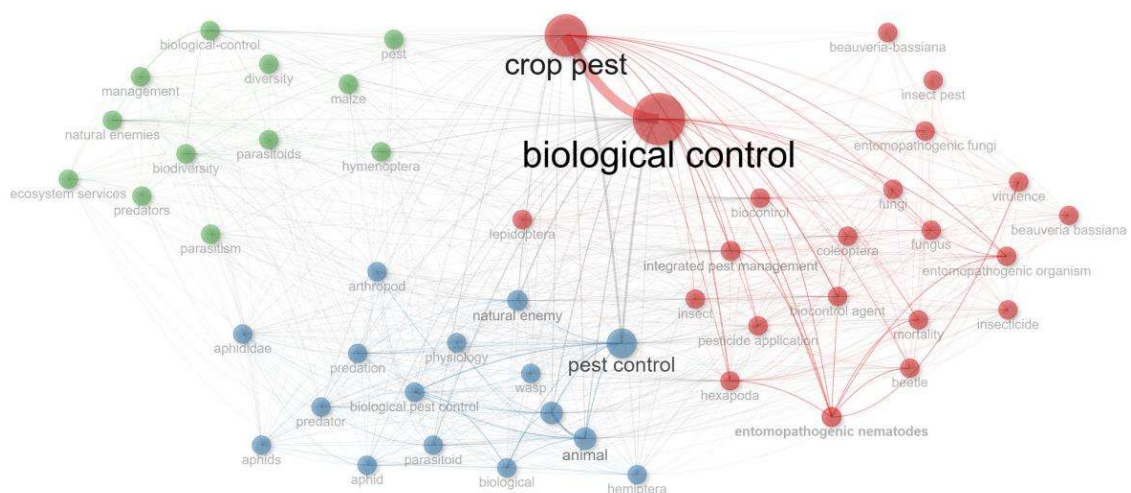


Figura 8 - Rede de coocorrência de palavras-chave em estudos sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas. Os nós representam palavras-chave, com tamanho proporcional à frequência de ocorrência, enquanto as conexões indicam relações de coocorrência entre os termos. As cores representam diferentes clusters temáticos identificados na literatura científica.

O primeiro *cluster* (vermelho), estruturado em torno do termo *biological control*,

revela uma orientação predominantemente biotecnológica e microbiológica. A densidade de termos associados a microrganismos entomopatogênicos, como *entomopathogenic fungi*, reflete o êxito comercial dessas formulações, que aliam elevada virulência à estabilidade operacional em diversos sistemas de cultivo. A recorrência de descritores como *entomopathogenic nematodes* e *Bacillus thuringiensis* ratifica a centralidade dos bioinsumos microbianos como alternativas aos defensivos sintéticos (*pesticide application*). Esse agrupamento evidencia uma vertente de pesquisa voltada à inovação tecnológica e à validação da eficácia de agentes biológicos no âmbito do Manejo Integrado de Pragas (MIP). Em escala global, tal foco espelha a expansão do setor de bioinsumos e o aporte crescente de investimentos em soluções biológicas destinadas a mitigar a dependência química na agricultura (Zhou et al. 2024).

O segundo cluster (verde) reúne termos associados à ecologia aplicada e aos serviços ecossistêmicos. Palavras-chave como *natural enemies*, *biodiversity*, *ecosystem services* e *landscape ecology* refletem uma abordagem sistêmica, na qual o controle biológico é interpretado como um serviço ecológico influenciado pela estrutura e pela complexidade do agroecossistema. A presença recorrente de *parasitoids* e da ordem Hymenoptera, incluindo gêneros como *Trichogramma* e *Cotesia*, indica que essa vertente prioriza estratégias baseadas na conservação e no fortalecimento de inimigos naturais em ambientes agrícolas. Esse padrão é consistente com uma tendência crescente na literatura internacional que enfatiza o papel da biodiversidade funcional e do manejo da paisagem agrícola na regulação natural de populações de pragas (Bianchi et al. 2006).

O terceiro cluster (azul) concentra termos relacionados às interações bióticas diretas e à dinâmica populacional entre pragas e agentes de controle biológico. Palavras como *predator*, *predation*, *functional response* e *aphid* indicam estudos experimentais voltados à quantificação da eficiência predatória e da resposta funcional de diferentes agentes de biocontrole. Esses estudos, frequentemente conduzidos em condições controladas ou em experimentos de campo, são essenciais para compreender os mecanismos ecológicos subjacentes às interações tróficas e para avaliar o potencial de diferentes espécies como agentes de controle biológico (Perović et al. 2018). Nesse sentido, esse cluster representa uma base ecológica fundamental que sustenta tanto o desenvolvimento de bioinsumos quanto a implementação de estratégias de controle biológico em programas de manejo integrado de pragas.

Além da organização em clusters, observa-se elevada frequência de termos associados a agentes específicos de controle biológico, como *Beauveria bassiana*,

centralidade, entendida como a relevância do tema para a rede científica, e sua densidade, que indica o grau de desenvolvimento interno desses tópicos. No quadrante de temas motores, caracterizados por alta centralidade e densidade, destacam-se o controle de pragas (*pest control*), o manejo integrado de pragas (*integrated pest management*) e os inimigos naturais (*natural enemies*), indicando que esses temas constituem bases consolidadas que estruturam a área de pesquisa. Como temas básicos e transversais, aparecem o controle biológico (*biological control*) em sentido amplo e as pragas agrícolas (*crop pests*), tópicos amplos que sustentam diversas linhas de investigação mais específicas. No quadrante de temas de nicho, observam-se áreas altamente especializadas, como biodiversidade (*biodiversity*) e complexidade da paisagem (*landscape complexity*), frequentemente associadas a estudos de ecologia aplicada ao controle biológico. Por outro lado, termos taxonômicos clássicos, como *Hymenoptera* e *Lepidoptera*, localizam-se na zona de temas emergentes ou em declínio. No contexto atual, essa posição não necessariamente indica perda de relevância, mas pode refletir uma transição na agenda científica, na qual estudos anteriormente centrados na biologia e taxonomia desses grupos passam a ser incorporados a abordagens mais integradas, relacionadas à avaliação de serviços ecossistêmicos e ao desenvolvimento de bioinsumos.

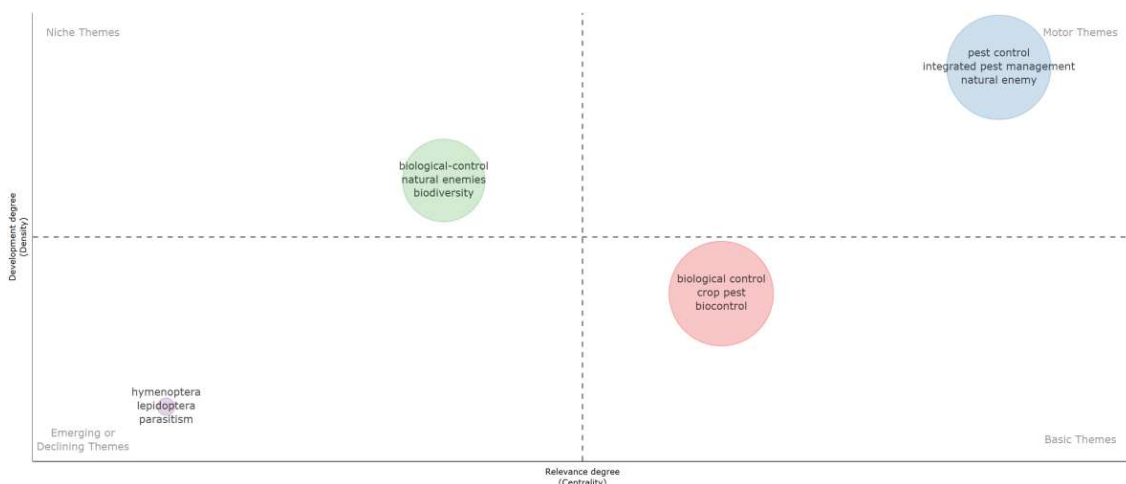


Figura 10 - Mapa temático das palavras-chave utilizadas em estudos sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas, mostrando a relação entre centralidade (relevância do tema) e densidade (grau de desenvolvimento do tema).

A análise da evolução temática (Figura 11) revela uma transição clara nos paradigmas de pesquisa entre 2016 e 2025. No período inicial (2016–2018), a literatura era dominada por estudos de caso sobre pragas específicas, como aphid (pulgões) e whitefly (mosca-branca), com foco em biologia básica. A partir de 2019–2021, observa-se um deslocamento para o termo biocontrol e pesticide resistance, refletindo a urgência

em encontrar alternativas aos químicos devido à falha de moléculas sintéticas no campo. No período mais recente (2022–2025), os termos entomopathogenic fungi, ecosystem services e sustainable agriculture tornaram-se predominantes. Essa mudança indica que a ciência do controle biológico evoluiu de uma abordagem puramente técnica e reativa para uma visão proativa e sustentável, alinhada às demandas globais por sistemas agroalimentares mais resilientes e ambientalmente sustentáveis.

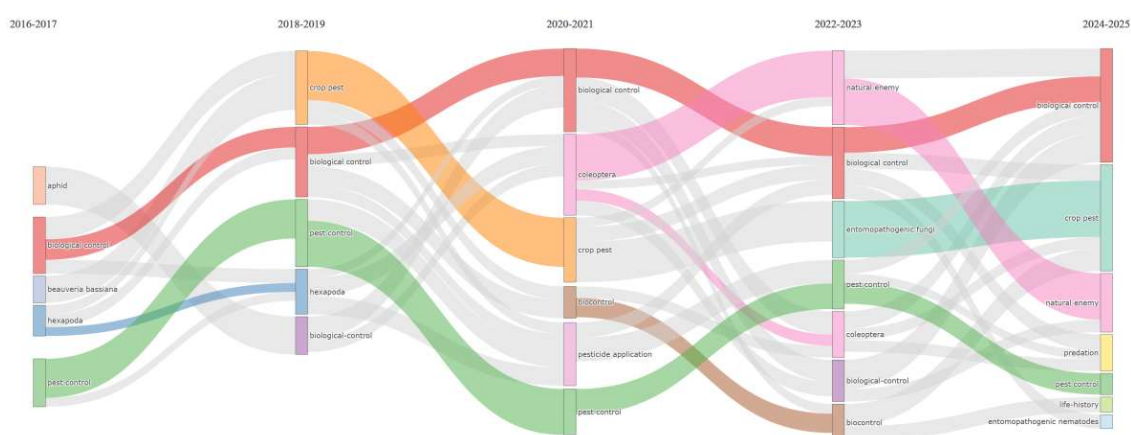


Figura 11 - Evolução temática das principais palavras-chave utilizadas em estudos sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas ao longo do período analisado.

10.5 Discussão

O conjunto de resultados obtidos neste estudo, especialmente o crescimento no número de publicações ao longo do período analisado (Figura 2), sugere uma fase de expansão e consolidação técnico-científica da pesquisa em controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas. Essa tendência reflete não apenas um interesse acadêmico crescente, mas também uma resposta direta à redução da eficácia dos pesticidas sintéticos, associada à evolução da resistência em populações de pragas e à crescente pressão regulatória e social por métodos de manejo mais sustentáveis (Oerke, 2005; Savary et al., 2019; Galli et al., 2024). Esse padrão observado neste estudo é consistente com a literatura recente, que aponta um aumento significativo da produção científica em controle biológico nas últimas décadas, acompanhando a transição para sistemas agrícolas mais resilientes e baseados em princípios ecológicos (Pretty & Bharucha, 2015; Donthu et al., 2021).

A manutenção de um patamar elevado de publicações após o pico observado em 2021 (Figura 2) reforça que o tema deixou de ocupar uma posição periférica para se firmar

como componente central das agendas de pesquisa em manejo de pragas. Esse comportamento está alinhado com a consolidação do Manejo Integrado de Pragas (MIP) como abordagem estruturante, na qual o controle biológico desempenha papel fundamental na redução da dependência de insumos químicos e na promoção da sustentabilidade dos agroecossistemas. A convergência de termos como *ecosystem services* e *integrated pest management* observada nas análises cienciométricas reforça que a eficácia do controle biológico está diretamente relacionada à manutenção da biodiversidade funcional e à qualidade ambiental (Wyckhuys et al., 2024; Zhou et al., 2024).

A concentração da produção científica em periódicos como *Insects*, *Biological Control*, *Biocontrol Science and Technology* e *Pest Management Science* indica que o campo possui veículos editoriais consolidados, mas também mantém forte interface com áreas adjacentes, como ecologia aplicada, entomologia agrícola e ciências ambientais. Esse padrão evidencia o caráter interdisciplinar do controle biológico, no qual coexistem abordagens voltadas à eficácia agrônômica, desenvolvimento de biopesticidas, ecologia de inimigos naturais e dinâmica de paisagens agrícolas (Heimpel & Mills, 2017; Galli et al., 2024). A presença simultânea de periódicos especializados e generalistas sugere que o avanço da área depende da integração entre abordagens tecnológicas e ecológicas.

A distribuição geográfica da produção científica evidencia a liderança de países com forte investimento em biotecnologia e proteção de plantas, como Estados Unidos e China. No entanto, o destaque do Brasil como terceiro país mais produtivo revela um cenário particularmente relevante, no qual a pesquisa científica se articula diretamente com a aplicação em larga escala de tecnologias de biocontrole. O país apresenta condições únicas, como elevada biodiversidade, sistemas agrícolas extensivos e políticas públicas voltadas ao desenvolvimento de bioinsumos, como o Programa Nacional de Bioinsumos (Decreto nº 10.375/2020). Esse conjunto de fatores posiciona o Brasil como um importante ambiente de validação tecnológica, especialmente em culturas como soja, milho e cana-de-açúcar (Da Silva Medina et al., 2024; Vermelho et al., 2025).

As redes de colaboração internacional observadas neste estudo evidenciam que a pesquisa em controle biológico possui natureza fortemente global e colaborativa. A centralidade de países como Estados Unidos e China, associada à participação ativa de países europeus e emergentes, demonstra que o enfrentamento de desafios como espécies invasoras, mudanças climáticas e sustentabilidade agrícola exige cooperação científica transnacional. Nesse contexto, o Brasil desempenha papel estratégico ao integrar redes de

colaboração com países da América Latina, Europa e América do Norte, contribuindo para a troca de conhecimento e validação de tecnologias em diferentes condições edafoclimáticas.

A análise das redes de coautoria revela a existência de núcleos de pesquisa bem definidos, estruturados em torno de diferentes abordagens científicas. De um lado, destacam-se grupos voltados à ecologia agrícola e aos serviços ecossistêmicos, investigando o papel da complexidade da paisagem na regulação natural de pragas (Tscharrntke et al., 2021; Koller et al., 2023). De outro, observa-se a presença de clusters focados na aplicação direta de agentes de controle biológico, incluindo parasitoides e microrganismos entomopatogênicos. Essa diversidade de abordagens reforça que o avanço do campo depende da integração entre ecologia e biotecnologia.

A estrutura dos clusters de coocorrência de palavras-chave evidencia que a literatura científica se organiza em três domínios principais: microbiológicos, macrobiológicos e integração sistêmica. A forte presença de termos associados a microrganismos entomopatogênicos, como *entomopathogenic fungi*, *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, reflete o sucesso comercial e a ampla aplicabilidade desses agentes em diferentes sistemas agrícolas, consolidando-os como alternativas viáveis aos inseticidas sintéticos em cenários de resistência (Lacey et al., 2015; McGuire & Northfield, 2020). Esse padrão observado neste estudo é consistente com a literatura internacional, que aponta esses microrganismos como alguns dos principais agentes utilizados em programas de Manejo Integrado de Pragas, devido à sua eficiência, especificidade e compatibilidade com práticas sustentáveis (Vega et al., 2009; Jaronski, 2010).

Paralelamente, a recorrência de termos vinculados a parasitoides, especialmente do gênero *Trichogramma*, predadores e biodiversidade sinaliza o fortalecimento das abordagens de ecologia aplicada no controle biológico. Estudos anteriores evidenciam a ampla utilização de *Trichogramma* spp. em programas de controle biológico aumentativo, destacando sua eficácia no manejo de lepidópteros-praga em diferentes culturas agrícolas (Zang et al., 2020; Navik et al., 2023). Além disso, a literatura demonstra que a conservação de inimigos naturais em paisagens agrícolas heterogêneas pode aumentar significativamente a eficiência do controle biológico, reduzindo a dependência de insumos externos e promovendo maior estabilidade ecológica (Bianchi et al., 2006; Pinheiro et al., 2023).

A análise do mapa temático (Figura 10) indica que temas como controle de pragas,

manejo integrado e inimigos naturais configuram-se como temas motores, apresentando elevada centralidade e densidade. Por outro lado, temas relacionados à biodiversidade, serviços ecossistêmicos e complexidade da paisagem ainda se encontram em processo de consolidação, ocupando posições típicas de temas de nicho ou emergentes. Esse padrão sugere que, embora amplamente reconhecidos como fundamentais para a sustentabilidade do controle biológico, esses tópicos ainda não atingiram o mesmo nível de integração nas agendas de pesquisa quanto as abordagens mais tradicionais centradas no controle direto de pragas.

A evolução temática observada ao longo do período analisado reforça esse deslocamento conceitual. Enquanto os estudos iniciais estavam mais concentrados na biologia de pragas específicas, como pulgões e moscas-brancas, observa-se, nos anos mais recentes, uma transição para abordagens mais integradas, que incorporam serviços ecossistêmicos, biotecnologia e resiliência climática. Essa mudança indica que o controle biológico evoluiu de uma abordagem predominantemente técnica para uma perspectiva mais sistêmica e interdisciplinar, alinhada às demandas contemporâneas por sustentabilidade agrícola (Sani et al., 2020; Wyckhuys et al., 2024; Begg et al., 2017; van Lenteren et al., 2018).

Em síntese, os resultados evidenciam que o controle biológico constitui um campo científico dinâmico e em expansão, no qual o Brasil desempenha papel estratégico tanto na produção científica quanto na aplicação prática de tecnologias de biocontrole. No entanto, persistem lacunas importantes, especialmente relacionadas à padronização de formulações biológicas, à transferência de tecnologia para produtores e à avaliação da eficácia do controle biológico em diferentes condições ambientais e sob cenários de mudanças climáticas (Togni et al., 2019; Evans et al., 2025).

Por fim, é importante destacar que este estudo apresenta limitações metodológicas relacionadas à adoção de estratégias de busca distintas entre as bases Web of Science e Scopus. Enquanto a primeira foi estruturada de forma mais abrangente, a segunda incorporou termos adicionais voltados à aplicação prática, o que pode ter influenciado a composição temática da amostra. Embora essa abordagem tenha permitido contemplar diferentes dimensões da pesquisa em controle biológico, essa diferença deve ser considerada na interpretação dos resultados, especialmente nas análises de tendências e coocorrência de palavras-chave.

10.6 Conclusão

A análise cienciométrica da literatura científica sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas entre 2016 e 2025 evidencia crescimento consistente da produção científica e maior presença do tema nas agendas de pesquisa voltadas à sustentabilidade agrícola.

Os resultados indicam que a produção científica se organiza em torno de três eixos principais: o desenvolvimento de microrganismos entomopatogênicos, com destaque para *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*; o uso de inimigos naturais macrobiológicos, como parasitoides do gênero *Trichogramma*; e a integração dessas estratégias em programas de Manejo Integrado de Pragas. Esse padrão aponta a organização da literatura científica em torno de abordagens microbiológicas, macrobiológicas e integradas no Manejo Integrado de Pragas.

A análise dos periódicos, autores e países mais produtivos evidencia a concentração da produção científica em países com forte atuação em pesquisa agrícola e biotecnologia, com destaque para Estados Unidos, China e Brasil. Nesse contexto, o Brasil figura entre os principais polos de produção científica e aplicação de tecnologias de biocontrole, associado à sua base agrícola e ao desenvolvimento de bioinsumos.

De forma geral, os resultados indicam tendências de pesquisa alinhadas ao desenvolvimento de estratégias de manejo de pragas com menor impacto ambiental. A abordagem cienciométrica permitiu identificar tendências emergentes, lacunas de conhecimento e a concentração temática da pesquisa em agentes específicos de biocontrole. De forma geral, os resultados deste estudo reforçam o papel do controle biológico como área científica em expansão, estruturada em torno de agentes-chave e abordagens integradas, contribuindo para orientar futuras pesquisas e o desenvolvimento de bioinsumos na agricultura.

10.7 Referências Bibliográficas

Abeijon, L., Birkhan, J., Lee, J., Ovruski, S., & Garcia, F. (2025). Global Trends in Research on Biological Control Agents of *Drosophila suzukii*: A Systematic Review. *Insects*, 16. <https://doi.org/10.3390/insects16020133>.

Adeosun, S. (2024). Scopus Indexing Delays of Articles Published in Major Pharmacy Practice Journals. *Innovations in Pharmacy*, 15. <https://doi.org/10.24926/iip.v15i4.6322>.

Angon, P., Mondal, S., Jahan, I., Datto, M., Antu, U., Ayshi, F., & Islam, M. (2023). Integrated Pest Management (IPM) in Agriculture and Its Role in Maintaining Ecological Balance and Biodiversity. *Advances in Agriculture*. <https://doi.org/10.1155/2023/5546373>.

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science

mapping analysis. *J. Informetrics*, 11, 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.

Ayaz, M., Li, C., Ali, Q., Zhao, W., Chi, Y., Shafiq, M., Ali, F., Yu, X., Yu, Q., Zhao, J., Yu, J., Qi, R., & Huang, W. (2023). Bacterial and Fungal Biocontrol Agents for Plant Disease Protection: Journey from Lab to Field, Current Status, Challenges, and Global Perspectives. *Molecules*, 28. <https://doi.org/10.3390/molecules28186735>.

Baker, B., Green, T., & Loker, A. (2020). Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biological Control*. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104095>.

Begg, G., Cook, S., Dye, R., Ferrante, M., Franck, P., Lavigne, C., Lövei, G., Mansion-Vaquié, A., Pell, J., Petit, S., Quesada, N., Ricci, B., Wratten, S., & Birch, A. (2017). A functional overview of conservation biological control. *Crop Protection*, 97, 145-158. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.008>.

Bekee, B., Segovia, M., & Valdivia, C. (2024). Adoption of smart farm networks: a translational process to inform digital agricultural technologies. *Agriculture and Human Values*, 41, 1573 - 1590. <https://doi.org/10.1007/s10460-024-10566-3>.

Bianchi, F., Booij, C., & Tschardtke, T. (2006). Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273, 1715 - 1727. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530>.

Collinge, D., Jensen, D., Rabiey, M., Sarrocco, S., Shaw, M., & Shaw, R. (2022). Biological control of plant diseases – what has been achieved and what is the direction?. *Plant Pathology*. <https://doi.org/10.1111/ppa.13555>.

Da Silva Medina, G., Rotondo, R., & Rodríguez, G. (2024). Innovations in Agricultural Bio-Inputs: Commercial Products Developed in Argentina and Brazil. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su16072763>.

De Lima Andreato, M., Mian, S., Andrade, G., De Freitas Bueno, A., Ventura, M., De Almeida, J., Ivan, E., Mosela, M., Simionato, A., Robaina, R., & Gonçalves, L. (2025). The current increase and future perspectives of the microbial pesticides market in agriculture: the Brazilian example. *Frontiers in Microbiology*, 16.

<https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1574269>.

Deguine, J., Aubertot, J., Flor, R., Lescourret, F., Wyckhuys, K., & Ratnadass, A. (2021). Integrated pest management: good intentions, hard realities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00689-w>.

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>.

Droby, S., Wisniewski, M., Teixidó, N., Spadaro, D., & Jijakli, H. (2016). The science, development, and commercialization of postharvest biocontrol products. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 22-29. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.04.006>.

Evans, A., Pfadenhauer, W., Buonaiuto, D., Fertakos, M., Brown-Lima, C., & Morelli, T. (2025). The future of biocontrol in the Anthropocene: A review of climate change impacts on biocontrol agents and their targets. *Ecological applications: a publication of the Ecological Society of America*, 35 6, e70088. <https://doi.org/10.1002/eap.70088>.

Galli, M., Feldmann, F., Vogler, U., & Kogel, K. (2024). Can biocontrol be the game-changer in integrated pest management? A review of definitions, methods and strategies. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 131, 265 - 291. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00878-1>.

Green, K., Stenberg, J., & Lankinen, Å. (2020). Making sense of Integrated Pest Management (IPM) in the light of evolution. *Evolutionary Applications*, 13, 1791 - 1805. <https://doi.org/10.1111/eva.13067>.

Gusenbauer, M. (2024). Beyond Google Scholar, Scopus, and Web of Science: An evaluation of the backward and forward citation coverage of 59 databases' citation indices. *Research Synthesis Methods*, 15, 802 - 817. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1729>.

Harms, N., Knight, I., Pratt, P., Reddy, A., Mukherjee, A., Gong, P., Coetzee, J., Raghu, S., & Diaz, R. (2021). Climate Mismatch between Introduced Biological Control Agents and Their Invasive Host Plants: Improving Biological Control of Tropical Weeds in Temperate Regions. *Insects*, 12. <https://doi.org/10.3390/insects12060549>.

Heimpel, G., & Mills, N. (2017). Biological Control: Ecology and Applications. . <https://doi.org/10.1017/9781139029117>.

Koller, J., Sutter, L., Gonthier, J., Collatz, J., & Norgrove, L. (2023). Entomopathogens and Parasitoids Allied in Biocontrol: A Systematic Review. *Pathogens*, 12. <https://doi.org/10.3390/pathogens12070957>.

Kumpulainen, M., & Seppänen, M. (2022). Combining Web of Science and Scopus datasets in citation-based literature study. *Scientometrics*, 127, 5613 - 5631. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04475-7>.

Lacey, L., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D., Frutos, R., Brownbridge, M., & Goettel, M. (2015). Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of invertebrate pathology*, 132, 1-41. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.07.009>.

Lenteren, J., Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W., & Urbaneja, A. (2018). Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. *BioControl*, 63, 39-59. <https://doi.org/10.1007/s10526-017-9801-4>.

Leybourne, D., Storer, K., Marshall, A., Musa, N., Telling, S., Abel, L., White, S., Ellis, S., Yang, P., & Berry, P. (2024). Thresholds and prediction models to support the sustainable management of herbivorous insects in wheat. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 44. <https://doi.org/10.1007/s13593-024-00965-5>.

Loureiro, E., Dias, P., Pessoa, L., Amaral, T., Pessôa, M., De Gregori, G., Rodrigues, A., & Godoy, M. (2024). Virulence of entomopathogenic fungi in larvae of Lepidoptera: Noctuidae. *Revista Caatinga*. <https://doi.org/10.1590/1983-21252024v37i12375rc>.

Mascarin, G., Lopes, R., Delalibera, Í., Fernandes, É., Luz, C., & Faria, M. (2018). Current status and perspectives of fungal entomopathogens used for microbial control of arthropod pests in Brazil. *Journal of invertebrate pathology*. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2018.01.001>.

Mcguire, A., & Northfield, T. (2020). Tropical Occurrence and Agricultural Importance of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. , 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00006>.

Medina, G., & Da Cunha, N. (2025). Industrial Bio-Inputs for Commodity Farming: An Ongoing Revolution in Brazil's Agriculture. *Commodities*. <https://doi.org/10.3390/commodities4040026>.

Moral-Munoz, J., Herrera-Viedma, E., Santisteban-Espejo, A., & Cobo, M. (2020). Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review. *El Profesional de la Información*. <https://doi.org/10.3145/epi.2020.ene.03>.

Navik, O., Yele, Y., Kedar, S., & Sushil, S. (2023). Biological control of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) using egg parasitoids, *Trichogramma* species (Hymenoptera: Trichogrammatidae): a review. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33, 1-17. <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00759-z>.

Oerke, E. (2005). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144, 31 - 43. <https://doi.org/10.1017/s0021859605005708>.

Oliveira, C., Auad, A., Mendes, S., & Frizzas, M. (2014). Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. *Crop Protection*, 56, 50-54. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.10.022>.

Oliveira, O., Da Silva, F., Juliani, F., Barbosa, L., & Nunhes, T. (2019). Bibliometric Method for Mapping the State-of-the-Art and Identifying Research Gaps and Trends in Literature: An Essential Instrument to Support the Development of Scientific Projects. *Scientometrics Recent Advances*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.85856>.

Ollivier, M., Lesieur, V., Raghu, S., & Martin, J. (2020). Characterizing ecological interaction networks to support risk assessment in classical biological control of weeds. *Current opinion in insect science*, 38, 40-47. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2019.12.002>.

Overton, K., Maino, J., Day, R., Umina, P., Bett, B., Carnovale, D., Ekesi, S., Meagher, R., & Reynolds, O. (2021). Global crop impacts, yield losses and action thresholds for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*): A review. *Crop Protection*. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105641>.

Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M. *et al.* (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Syst Rev* 10, 89.

<https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>

Pathak, V., Verma, V., Rawat, B., Kaur, B., Babu, N., Sharma, A., Dewali, S., Yadav, M., Kumari, R., Singh, S., Mohapatra, A., Pandey, V., Rana, N., & Cunill, J. (2022). Current status of pesticide effects on environment, human health and it's eco-friendly management as bioremediation: A comprehensive review. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.962619>.

Perović, D., Gámez-Virués, S., Landis, D., Wäckers, F., Gurr, G., Wratten, S., You, M., & Desneux, N. (2018). Managing biological control services through multi-trophic trait interactions: review and guidelines for implementation at local and landscape scales. *Biological Reviews*, 93. <https://doi.org/10.1111/brv.12346>.

Pinheiro, R., Duque, T., Barroso, G., Soares, M., Cabral, C., Zanuncio, J., & Santos, J. (2023). Herbicides may threaten advances in biological control of diseases and pests. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 111850-111870. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30198-0>.

Popp, J., Pető, K., & Nagy, J. (2012). Pesticide productivity and food security. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33, 243-255. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0105-x>.

Pretty, J., & Bharucha, Z. (2015). Integrated Pest Management for Sustainable Intensification of Agriculture in Asia and Africa. *Insects*, 6, 152 - 182. <https://doi.org/10.3390/insects6010152>.

Rani, L., Thapa, K., Kanojia, N., Sharma, N., Singh, S., Grewal, A., Srivastav, A., & Kaushal, J. (2020). An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *Journal of Cleaner Production*, 124657. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124657>.

Redlich, S., Martin, E., & Steffan-Dewenter, I. (2018). Landscape-level crop diversity benefits biological pest control. *Journal of Applied Ecology*, 55, 2419-2428. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13126>.

Sabbahi, R., Hock, V., Azzaoui, K., Saoiabi, S., & Hammouti, B. (2022). A global perspective of entomopathogens as microbial biocontrol agents of insect pests. *Journal*

of Agriculture and Food Research. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100376>.

Sani, I., Ismail, S., Abdullah, S., Jalinas, J., Jamian, S., & Saad, N. (2020). A Review of the Biology and Control of Whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), with Special Reference to Biological Control Using Entomopathogenic Fungi. *Insects*, 11. <https://doi.org/10.3390/insects11090619>.

Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 3, 430 - 439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>.

Sharma, S., Shera, P., Kaur, R., & Sangha, K. (2020). Evaluation of augmentative biological control strategy against major borer insect pests of sugarcane—a large-scale field appraisal. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00330-0>.

Shields, M., Johnson, A., Pandey, S., Cullen, R., Chang, G., Wratten, S., & Gurr, G. (2019). History, current situation and challenges for conservation biological control. *Biological Control*. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.12.010>.

Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I., Lešić, V., & Lemić, D. (2021). The Impact of Climate Change on Agricultural Insect Pests. *Insects*, 12. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>.

Smith, S. (1996). Biological control with *Trichogramma*: advances, successes, and potential of their use. *Annual review of entomology*, 41, 375-406. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.41.010196.002111>.

Tariq, M., Khan, A., Asif, M., Khan, F., Ansari, T., Shariq, M., & Siddiqui, M. (2020). Biological control: a sustainable and practical approach for plant disease management. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 70, 507 - 524. <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1784262>.

Togni, P., Venzon, M., Lagôa, A., & Sujii, E. (2019). Brazilian Legislation Leaning Towards Fast Registration of Biological Control Agents to Benefit Organic Agriculture. *Neotropical Entomology*, 48, 175 - 185. <https://doi.org/10.1007/s13744-019-00675-8>.

Tscharntke, T., Grass, I., Wanger, T., Westphal, C., & Batáry, P. (2021). Restoring biodiversity needs more than reducing pesticides. *Trends in ecology & evolution*. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.11.009>.

Vermelho, A., Macrae, A., Neves, A., Domingos, L., De Souza, J., Borsari, A., De Oliveira, S., Von Der Weid, I., Veillard, P., & Zilli, J. (2025). Microbial bioinputs in Brazilian agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2025.09.013>.

Villavicencio-Vásquez, M., Espinoza-Lozano, F., Espinoza-Lozano, L., & Coronel-León, J. (2025). Biological control agents: mechanisms of action, selection, formulation and challenges in agriculture. *Frontiers in Agronomy*. <https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1578915>.

Wyckhuys, K., Akutse, K., Amalin, D., (...), Elkahky, M., & Hadi, B. (2024). Global scientific progress and shortfalls in biological control of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *Biological Control*. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2024.105460>.

Wyckhuys, K., Gu, B., Fekih, I., Finger, R., Kenis, M., Lu, Y., Subramanian, S., Tang, F., Weber, D., Zhang, W., & Hadi, B. (2024). Restoring functional integrity of the global production ecosystem through biological control. *Journal of environmental management*, 370, 122446. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122446>.

Wyckhuys, K., Tang, F., & Hadi, B. (2023). Pest management science often disregards farming system complexities. *Communications Earth & Environment*. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00894-3>.

Zang, L., Wang, S., Zhang, F., & Desneux, N. (2020). Biological Control with *Trichogramma* in China: History, Present Status and Perspectives. *Annual review of entomology*. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-060120-091620>.

Zhao, H., Yang, N., Huang, H., Shi, J., Xian, X., Wan, F., & Liu, W. (2023). Integrating biogeographic approach into classical biological control: Assessing the climate matching and ecological niche overlap of two natural enemies against common ragweed in China. *Journal of environmental management*, 347, 119095. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119095>.

Zhou, W., Arcot, Y., Medina, R., Bernal, J., Cisneros-Zevallos, L., & Akbulut, M. (2024). Integrated Pest Management: An Update on the Sustainability Approach to Crop Protection. *ACS Omega*, 9, 41130 - 41147. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c06628>.

Zhou, W., Li, M., & Achal, V. (2024). A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. *Emerging Contaminants*. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100410>.

11. CONCLUSÃO GERAL

A realização deste trabalho permitiu compreender, de forma integrada, a evolução da produção científica sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas ao longo da última década. A partir da revisão sistemática com abordagem cienciométrica apresentada no artigo intitulado “*Análise cienciométrica da literatura científica sobre controle biológico de insetos-praga em sistemas agrícolas*”, foi possível identificar padrões relevantes na literatura científica internacional, incluindo o crescimento consistente da produção acadêmica, os principais agentes de biocontrole investigados e as tendências emergentes de pesquisa na área.

Os resultados obtidos evidenciam que o controle biológico tem se consolidado como um campo científico dinâmico e interdisciplinar, no qual convergem diferentes áreas do conhecimento, como ecologia aplicada, microbiologia, entomologia agrícola e biotecnologia de bioinsumos. A literatura analisada demonstra que a pesquisa contemporânea tem se estruturado principalmente em torno do uso de microrganismos entomopatogênicos, do emprego de inimigos naturais macrobiológicos e da integração dessas estratégias em programas de Manejo Integrado de Pragas. Esse cenário reflete a crescente necessidade de desenvolver sistemas agrícolas mais sustentáveis e resilientes, capazes de reduzir a dependência de pesticidas sintéticos e preservar os serviços ecossistêmicos essenciais à produção agrícola.

Além disso, a análise da distribuição geográfica da produção científica evidenciou o caráter global da pesquisa em controle biológico, com destaque para países como Estados Unidos, China e Brasil. No caso brasileiro, observa-se uma posição de destaque tanto na produção científica quanto na aplicação prática de tecnologias baseadas em bioinsumos, resultado da elevada biodiversidade, da diversidade de sistemas agrícolas e do fortalecimento de políticas públicas voltadas à agricultura sustentável.

De forma geral, os resultados deste trabalho contribuem para ampliar a compreensão sobre a evolução do conhecimento científico relacionado ao controle biológico de insetos-praga, permitindo identificar lacunas de pesquisa e oportunidades para o desenvolvimento de novas estratégias de manejo sustentável. Nesse sentido, espera-se que os resultados apresentados possam subsidiar futuras investigações científicas, apoiar o desenvolvimento de tecnologias baseadas em bioinsumos e fortalecer a adoção de práticas de manejo de pragas mais sustentáveis na agricultura.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS

Ahmad, M., Ahmad, F., Alsayegh, A., Zeyauallah, M., AlShahrani, A., Muzammil, K., Saati, A., Wahab, S., Elbendary, E., Kambal, N., Abdelrahman, M., & Hussain, S. (2024). Pesticides impacts on human health and the environment with their mechanisms of action and possible countermeasures. *Heliyon*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29128>.

Baker, B., Green, T., & Loker, A. (2020). Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biological Control*. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104095>.

Barathi, S., Sabapathi, N., Kandasamy, S., & Lee, J. (2023). Present status of insecticide impacts and eco-friendly approaches for remediation-a review. *Environmental research*, 117432. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117432>.

Curk, M., & Trdan, S. (2024). Benefiting from Complexity: Exploring Enhanced Biological Control Effectiveness via the Simultaneous Use of Various Methods for Combating Pest Pressure in Agriculture. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010199>.

Deka, B., Baruah, C., & Babu, A. (2021). Entomopathogenic microorganisms: their role in insect pest management. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31, 1-8. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00466-7>.

Galli, M., Feldmann, F., Vogler, U., & Kogel, K. (2024). Can biocontrol be the game-changer in integrated pest management? A review of definitions, methods and strategies. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 131, 265 - 291. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00878-1>.

Ikhwan, I., Rahayuningsih, S., Yuniarti, E., Kusuma, H., Darmokoesomo, H., & Putra, N. (2024). Mapping the trend of evolution: a bibliometric analysis of biopesticides in fruit crop protection. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 131, 645 - 664. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00879-0>.

Lahlali, R., Ezrari, S., Radouane, N., Kenfaoui, J., Esmacel, Q., Hamss, H., Belabess, Z., & Barka, E. (2022). Biological Control of Plant Pathogens: A Global

Perspective. *Microorganisms*, 10. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10030596>.

Raven, P., & Wagner, D. (2021). Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2002548117>.

Redlich, S., Martin, E., & Steffan-Dewenter, I. (2018). Landscape-level crop diversity benefits biological pest control. *Journal of Applied Ecology*, 55, 2419-2428. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13126>.

Sawangproh, W., Paejaroen, P., Afifah, L., & Phaenark, C. (2025). Microbial pesticides: a bibliometric analysis of global research trends (1973–2024). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 35. <https://doi.org/10.1186/s41938-025-00840-9>.

Shah, F., & Wu, W. (2019). Soil and Crop Management Strategies to Ensure Higher Crop Productivity within Sustainable Environments. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su11051485>.

Tudi, M., Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. (2021). Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>.

Villavicencio-Vásquez, M., Espinoza-Lozano, F., Espinoza-Lozano, L., & Coronel-León, J. (2025). Biological control agents: mechanisms of action, selection, formulation and challenges in agriculture. *Frontiers in Agronomy*. <https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1578915>.

Yang, Y., Tilman, D., Jin, Z., Smith, P., Barrett, C., Zhu, Y., Burney, J., D’Odorico, P., Fantke, P., Fargione, J., Finlay, J., Rulli, M., Sloat, L., Van Groenigen, K., West, P., Ziska, L., Michalak, A., & Lobell, D. (2024). Climate change exacerbates the environmental impacts of agriculture. *Science*, 385. <https://doi.org/10.1126/science.adn3747>.