

**PANORAMA BIBLIOMÉTRICO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA SOBRE O USO DE
MICRORGANISMOS NO CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS AGRÍCOLAS**

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.059-008>

Luís Eduardo Tavares Martins

Gestor Ambiental, Mestrando em Ciências Ambientais
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6288-2412>

Jéssica Etcheverria do Prado Hartwig

Gestora Ambiental, Doutoranda em Ciências Ambientais
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9296-0904>

Luã Nunes Rangel

Graduando em Biotecnologia
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6849-2396>

Rubiane Buchweitz Fick

Graduanda em Eng. Ambiental e Sanitária
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2131-4952>

Jessica Torres dos Santos

Doutoranda em Recursos Hídricos
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6544-2286>

Ezequiel da Silva Tins

Graduando em Engenharia Civil
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4850-6377>

Rafael Miritz Bartz

Mestrando em Recursos Hídricos
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8732-6574>

Ana Clara Marins Mendes

Graduanda em Eng. Ambiental e Sanitária
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9580-7111>

Kelian Ramire Waskow Grellert

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7930-3281>

Maria Carolina Gomes Silva e Silva

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4976-2869>

Marcos Antonio da Silva

Mestrando em Ciência e Engenharia dos Materiais
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5372-1168>

Josiane Pinheiro Farias

Dra. em Ciência e Engenharia dos Materiais
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8933-4984>

Thays França Afonso

Dra. em Ciência e Engenharia dos Materiais
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7803-7319>

Luiza Beatriz Gamboa Araújo Morselli

Dra. em Ciência e Engenharia de Materiais
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1703-7710>

Robson Andreazza

Doutor em Ciências do Solo
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9211-9903>

Simone Pieniz

Dra. em Microbiologia Agrícola e do Ambiente
Universidade Federal de Pelotas
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7403-1577>

Resumo

A intensificação da produção agrícola e a dependência de pesticidas sintéticos têm ampliado a busca por alternativas mais sustentáveis para o manejo de pragas. Nesse contexto, o controle biológico baseado em microrganismos destaca-se como uma estratégia promissora, especialmente pela utilização de fungos, bactérias e outros agentes capazes de atuar sobre pragas e fitopatógenos. Este estudo teve como objetivo analisar o panorama da produção científica sobre a utilização de microrganismos no controle biológico de pragas agrícolas, por meio de uma análise bibliométrica da base de dados Scopus. A pesquisa contemplou

publicações entre 2015 e 2025, considerando artigos em português e inglês, das áreas de *Agricultural and Biological Sciences* e *Environmental Science*, com acesso aberto, resultando em 1.034 documentos analisados. Foram avaliados os artigos mais citados, a evolução temporal das publicações, a distribuição geográfica, as palavras-chave, os principais autores, os periódicos e as redes de colaboração científica. Os resultados demonstraram crescimento expressivo da produção científica, passando de 26 artigos em 2015 para 221 em 2025. China e Estados Unidos apresentaram maior densidade de produção, enquanto Brasil e Espanha destacaram-se como importantes pontos de conexão. As palavras-chave evidenciaram a centralidade de *biological control* e *biocontrol*, com destaque para *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* e *Bacillus thuringiensis*. A análise também revelou uma estrutura científica interdisciplinar e relativamente fragmentada quanto às coautorias. Conclui-se que o uso de microrganismos no controle biológico constitui uma área científica em expansão, associada ao desenvolvimento de estratégias agrícolas mais sustentáveis e ao manejo integrado de pragas.

Palavras-chave: Agentes microbianos; Agricultura; Bibliometria.

1 INTRODUÇÃO

A intensificação da produção agrícola tem aumentado a demanda por estratégias eficientes de manejo de pragas, historicamente baseadas no uso de defensivos químicos (Ediagbonya et al., 2025). A grande produção global elevou o uso de pesticidas sintéticos a 3,5 bilhões de kg/ano, que apesar de desempenharem papel importante na manutenção da produtividade, geram diversos impactos ambientais e sanitários negativos, motivando a busca por controles alternativos das pragas (Pretty; Bharucha, 2015).

Nesse contexto, o controle biológico utilizando microrganismos tem se consolidado como uma alternativa promissora, empregando bactérias, fungos, vírus e outros agentes capazes de reduzir populações de pragas agrícolas de forma mais seletiva e ambientalmente compatível (Chaudhary et al., 2024; Villavicencio-Vásquez et al., 2025). O Brasil, por possuir um dos maiores setores agrícolas do mundo e extensa biodiversidade microbiana, tem apresentado crescimento no desenvolvimento de pesquisas relacionadas a essa temática, contribuindo para o avanço do manejo integrado de pragas e da agricultura sustentável (Boaventura; Quintela, 2025).

Apesar desse avanço, ainda são poucos os estudos que elucidem quanto a evolução da produção científica sobre o uso de microrganismos no controle biológico de pragas agrícolas. Dessa forma, a análise bibliométrica pode fornecer uma perspectiva mais diversa quanto à produtividade e impacto sobre um determinado tema de pesquisa, analisando citações por ano, desempenho de pesquisadores, uso de

indicadores e ocorrência de palavras-chave. É uma ferramenta importante para compreender e gerenciar pesquisas científicas, fornecendo informações quantitativas e qualitativas (Hassan; Duarte, 2024).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo analisar o panorama da produção científica sobre a utilização de microrganismos no controle biológico de pragas agrícolas, por meio de indicadores bibliométricos obtidos na base Scopus, contribuindo para a compreensão da evolução da área e para a identificação de perspectivas futuras de pesquisa.

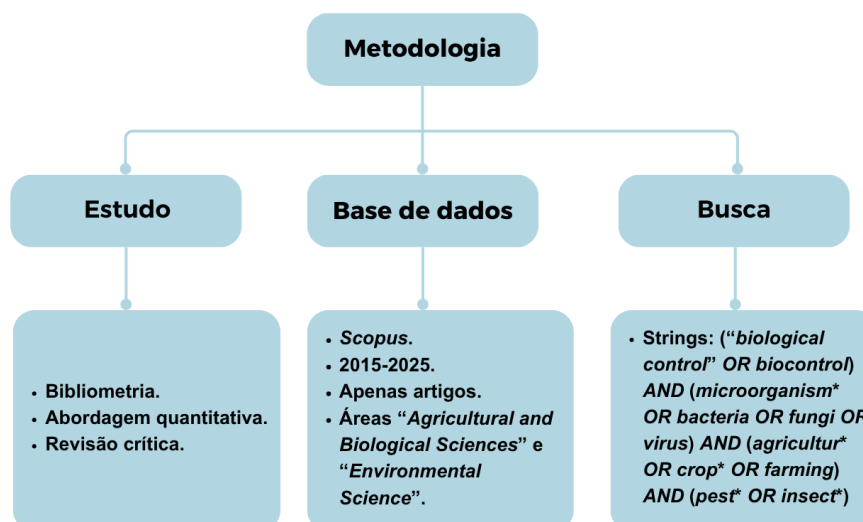
2 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo bibliométrico de abordagem quali-quantitativa, cujo objetivo é identificar as características e tendências predominantes na produção científica sobre o uso de microrganismos no controle biológico de pragas agrícolas. A escolha pela metodologia bibliométrica justifica-se pela capacidade de quantificar e analisar a evolução, a distribuição e as tendências da produção científica em um determinado campo do conhecimento, permitindo uma compreensão estruturada do desenvolvimento da pesquisa sobre o tema ao longo do tempo (Hassan; Duarte, 2024).

A pesquisa bibliométrica foi realizada na base de dados *Scopus*, utilizando os seguintes strings, combinados pelos operadores booleanos “OR” e “AND”: ((*“biological control” OR biocontrol*) AND (*microorganism* OR bacteria OR fungi OR virus*) AND (*agricultur* OR crop* OR farming*) AND (*pest* OR insect**)). Nesta etapa, sem mais filtros selecionados, foram encontrados 6.798 documentos.

Após a busca inicial, foram aplicados filtros para restringir os documentos recuperados, mantendo apenas aqueles mais relevantes para este estudo. Foram selecionados exclusivamente artigos publicados entre os anos de 2015 e 2025, de modo que o recorte temporal contemplasse a produção científica mais recente sobre a temática. Além disso, optou-se por artigos nas línguas português e inglês, estreitando ainda mais o estudo. Ao limitar a busca às áreas de “*Agricultural and Biological Sciences*” e “*Environmental Science*”, bem como selecionar apenas artigos *Open Access*, o número de documentos foi reduzido de 6.798 para 1.034 artigos. Deste modo, a Figura 1 apresenta o organograma representativo da busca realizada.

Figura 1. Organograma do processo metodológico para a busca do tema na base de dados.



Fonte: Autores, 2026.

Foi realizado o download, em formato CSV, do arquivo referente à busca realizada na base de dados *Scopus*, a fim de possibilitar o processamento dos dados e o desenvolvimento das análises bibliométricas apresentadas na seção 3 (Resultados e Discussão). Os gráficos utilizados para a apresentação e discussão dos resultados foram elaborados, em parte, por meio da ferramenta bibliométrica VOSviewer e, em parte, utilizando a plataforma Canva. Optou-se pela utilização dos 1.034 documentos recuperados na busca, considerando que a inclusão de todo o conjunto de dados proporciona maior representatividade e robustez às análises bibliométricas realizadas.

Posteriormente, foi elaborada uma listagem dos 10 artigos mais citados entre os documentos analisados. Esses trabalhos foram utilizados como referencial bibliográfico para fundamentar e subsidiar a discussão apresentada nas subseções 3.1 e 3.2. Todas as figuras presentes foram produzidas no editor de imagens e outros tipos de designs, Canva.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ARTIGOS DE MAIOR IMPACTO

A partir do levantamento bibliométrico realizado, foi elaborada uma listagem dos 10 artigos com maior número de citações entre os documentos identificados na base de dados *Scopus*. A seleção desses trabalhos teve como objetivo destacar as publicações que apresentaram maior impacto e visibilidade dentro do conjunto de estudos relacionados ao tema investigado. Para cada artigo, foram considerados dados bibliográficos como título, autoria, ano de publicação, periódico de veiculação e número de citações, permitindo organizar e caracterizar as principais referências encontradas no levantamento.

Os 10 artigos selecionados foram utilizados como referencial bibliográfico para fundamentar e subsidiar a discussão apresentada nesta seção. A análise desses trabalhos possibilitou identificar diferentes abordagens relacionadas ao controle biológico, incluindo o uso de invertebrados e microrganismos, fungos entomopatogênicos, bactérias promotoras do controle de fitopatógenos, metabólitos microbianos, micovírus e outras estratégias de manejo. Dessa forma, as publicações selecionadas contribuíram para estabelecer uma base teórica para a interpretação dos resultados e para a contextualização das principais tendências identificadas na literatura analisada. Abaixo, estão listados na Tabela 1 os trabalhos de maior impacto do acervo analisado, considerando o número total de citações acumuladas.

Tabela 1. Os 10 artigos mais citados sobre o tema no *Scopus*.

Título do Artigo	Autores	Ano	Periódico	Citações
Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities	van Lenteren J.C.; Bolckmans K.; Köhl J.; Ravensberg W.J.; Urbaneja A.	2018	<i>BioControl</i>	813
MAPK Signaling Pathway Alters Expression of Midgut ALP and ABCC Genes and Causes Resistance to <i>Bacillus thuringiensis</i> Cry1Ac Toxin in Diamondback Moth	Guo Z.; Kang S.; Chen D.; Wu Q.; Wang S.; Xie W.; Zhu X.; Baxter S.W.; Zhou X.; Jurat-Fuentes J.L.; Zhang Y.	2015	<i>PLoS Genetics</i>	236
Characterization and biotoxicity of <i>Hypnea musciformis</i> -synthesized silver nanoparticles as potential eco-friendly control tool against <i>Aedes aegypti</i> and <i>Plutella xylostella</i>	Roni M.; Murugan K.; Panneerselvam C.; Subramaniam J.; Nicoletti M.; Madhiyazhagan P.; Dinesh D.; Suresh U.; Khater H.F.; Wei H.; Canale A.; Alarfaj A.A.; Munusamy M.A.; Higuchi A.; Benelli G.	2015	<i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>	215
A review of the biology and control of whitefly, <i>Bemisia tabaci</i> (Hemiptera: Aleyrodidae), with special reference to biological control using entomopathogenic fungi	Sani I.; Ismail S.I.; Abdullah S.; Jalinas J.; Jamian S.; Saad N.	2020	<i>Insects</i>	191
Bio-organic soil amendment promotes the suppression of <i>Ralstonia solanacearum</i> by inducing changes in the functionality and composition of rhizosphere bacterial communities	Deng X.; Zhang N.; Li Y.; Zhu C.; Qu B.; Liu H.; Li R.; Bai Y.; Shen Q.; Falcao Salles J.	2022	<i>New Phytologist</i>	189
An endophytic <i>Beauveria bassiana</i> strain increases spike production in bread and durum wheat plants and effectively	Sánchez-Rodríguez A.R.; Raya-Díaz S.; Zamarreño Á.M.; García-Mina J.M.; del Campillo M.C.; Quesada Moraga E.	2018	<i>Biological Control</i>	178

controls cotton leafworm (<i>Spodoptera littoralis</i>) larvae				
Sustainable Crop and Weed Management in the Era of the EU Green Deal: A Survival Guide	Tataridas A.; Kanatas P.; Chatzigeorgiou A.; Zannopoulos S.; Travlos I.	2022	<i>Agronomy</i>	156
Fengycin produced by <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> FZB42 inhibits <i>Fusarium graminearum</i> growth and mycotoxins biosynthesis	Hanif A.; Zhang F.; Li P.; Li C.; Xu Y.; Zubair M.; Zhang M.; Jia D.; Zhao X.; Liang J.; Majid T.; Yan J.; Farzand A.; Wu H.; Gu Q.; Gao X.	2019	<i>Toxins</i>	153
Pathogens and Molds Affecting Production and Quality of <i>Cannabis sativa</i> L.	Punja Z.K.; Collyer D.; Scott C.; Lung S.; Holmes J.; Sutton D.	2019	<i>Frontiers in Plant Science</i>	140
Mycoviruses in biological control: From basic research to field implementation	García-Pedrajas M.D.; Cañizares M.C.; Sarmiento Villamil J.L.; Jacquat A.G.; Dambolena J.S.	2019	<i>Phytopathology</i>	130

Fonte: Autores, 2026.

3.2 O CONTROLE DE PRAGAS POR AGENTES BIOLÓGICOS

A literatura sobre controle biológico evidencia a ampliação das estratégias utilizadas para reduzir populações de pragas e doenças agrícolas. Van Lenteren et al. (2018) discutem o controle biológico aumentativo com o uso de organismos invertebrados e microrganismos liberados em grandes quantidades, destacando sua aplicação mundial e a disponibilidade comercial de mais de 440 espécies de agentes de controle. Os autores relacionam a expansão dessa abordagem à redução do uso de pesticidas sintéticos, à diminuição de resíduos e à possibilidade de integração com diferentes sistemas de manejo. Entretanto, o trabalho de Guo et al. (2015) demonstra que agentes de controle biológico também podem estar sujeitos à evolução de resistência nos organismos-alvo. Ao estudar *Plutella xylostella*, os autores verificaram que a resistência à toxina Cry1Ac de *Bacillus thuringiensis* estava associada à expressão diferencial de uma fosfatase alcalina de membrana do intestino médio e de genes da família ABCC. O estudo relacionou ainda a via de sinalização MAPK à alteração da expressão desses genes e ao fenótipo de resistência, evidenciando a importância dos mecanismos moleculares envolvidos na resposta dos insetos aos agentes de controle.

Entre as alternativas de controle de artrópodes, destacam-se também os produtos de origem biológica e as formulações baseadas em fungos entomopatogênicos. Roni et al. (2015) avaliaram nanopartículas de prata sintetizadas a partir do extrato aquoso da alga *Hypnea musciformis*. As nanopartículas apresentaram formato predominantemente esférico, natureza cristalina e tamanho médio entre 40 e 65 nm, sendo avaliadas em condições laboratoriais contra larvas e pupas de *Aedes aegypti* e

Plutella xylostella. Os autores observaram toxicidade larvica e pupica, além de redução da longevidade e da fecundidade dos adultos tratados. Por sua vez, Sani et al. (2020) realizaram uma revisão sobre a biologia e o controle de *Bemisia tabaci*, com ênfase nos fungos entomopatogênicos. O trabalho aponta que *B. tabaci* é uma importante praga de culturas agrícolas e também vetor de vírus de plantas, enquanto o uso intensivo de inseticidas químicos está associado a problemas como resistência, contaminação ambiental e efeitos sobre organismos não alvo. Os autores destacam os fungos entomopatogênicos como alternativa dentro do manejo integrado de pragas e relatam que espécies de hifomicetos estão entre os agentes mais utilizados, com o segundo ínstar de *B. tabaci* identificado como o estágio mais suscetível à infecção.

O controle biológico também pode ocorrer por meio da modificação das comunidades microbianas associadas ao solo e pela utilização de microrganismos endofíticos. Deng et al. (2022) investigaram a supressão de *Ralstonia solanacearum* mediante a aplicação contínua de fertilizantes bio-orgânicos em um experimento de campo de longa duração. Os resultados indicaram que a supressividade da doença esteve relacionada principalmente a mudanças na composição das comunidades bacterianas da rizosfera, e não apenas à abundância do microrganismo introduzido como agente de biocontrole. A análise metagenômica também revelou o enriquecimento de membros das famílias *Sphingomonadaceae* e *Xanthomonadaceae* capazes de produzir metabólitos secundários, especialmente após a invasão pelo patógeno. Já Sánchez-Rodríguez et al. (2018) avaliaram a colonização endofítica de plantas de trigo por uma linhagem de *Beauveria bassiana*. O fungo foi capaz de colonizar trigo de pão e trigo duro, e os tratamentos de inoculação por revestimento de sementes e aplicação no solo aumentaram a produção de espigas em determinadas condições. Além disso, larvas de *Spodoptera littoralis* alimentadas com folhas provenientes de plantas colonizadas apresentaram mortalidade entre 30% e 57%, dependendo do método de inoculação, enquanto as larvas alimentadas com folhas-controle não apresentaram mortalidade.

A busca por sistemas agrícolas menos dependentes de produtos químicos também aparece no trabalho de Tataridas et al. (2022), que apresenta uma estrutura abrangente para o manejo sustentável de culturas e plantas daninhas no contexto do Pacto Ecológico Europeu. Os autores discutem a vulnerabilidade dos sistemas agrícolas associada à dependência de herbicidas e ao aumento da resistência de plantas daninhas, propondo a integração de alternativas não químicas, como rotação e diversificação de culturas, redução do revolvimento do solo, consórcios, microrganismos benéficos, agentes de controle biológico, cobertura do solo e tecnologias de agricultura de precisão. No controle de doenças, Hanif et al. (2019) estudaram a fengicina produzida por *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 e sua ação sobre *Fusarium graminearum*, patógeno associado à fusariose da espiga de cereais. O trabalho investigou a capacidade da fengicina de inibir o crescimento do fungo e a biossíntese de micotoxinas, inserindo os metabólitos produzidos por bactérias do gênero *Bacillus* entre as possibilidades de utilização de compostos microbianos no controle de patógenos. Dessa forma, os dois estudos abordam estratégias distintas, mas complementares,

de redução da dependência de insumos químicos, envolvendo tanto práticas de manejo do agroecossistema quanto produtos derivados de microrganismos.

Por fim, os trabalhos de Punja et al. (2019) e García-Pedrajas et al. (2019) ampliam a discussão para o manejo de doenças e para novas formas de controle envolvendo microrganismos. Punja et al. (2019) caracterizaram patógenos e fungos associados à produção de *Cannabis sativa* em diferentes sistemas de cultivo, identificando, entre outros, espécies de *Fusarium* e *Pythium* associadas a doenças radiculares, oídio nas folhas e podridões de inflorescências causadas por *Penicillium*, *Botrytis* e *Fusarium*. O estudo também detectou diferentes fungos em ambientes de cultivo e observou que produtos de biocontrole contendo *Beauveria bassiana* e *Trichoderma* contribuíram para a presença desses fungos nas amostras de ar. García-Pedrajas et al. (2019), por sua vez, revisaram o potencial dos micovírus como agentes de controle biológico de fungos fitopatogênicos. Os autores destacam que determinados micovírus podem induzir hipovirulência, ou redução da virulência, em seus fungos hospedeiros, mas ressaltam que sua aplicação depende da capacidade de transmissão e disseminação nas populações naturais dos patógenos. A transmissão ocorre principalmente por anastomose de hifas, no sentido horizontal, e por conídios, no sentido vertical, enquanto fatores relacionados ao fungo hospedeiro e ao vírus influenciam a eficiência dessa transmissão.

Em conclusão, as referências analisadas mostram diferentes níveis de atuação do controle biológico, desde organismos e moléculas diretamente aplicados contra pragas e patógenos até modificações das comunidades microbianas e interações vírus-fungo.

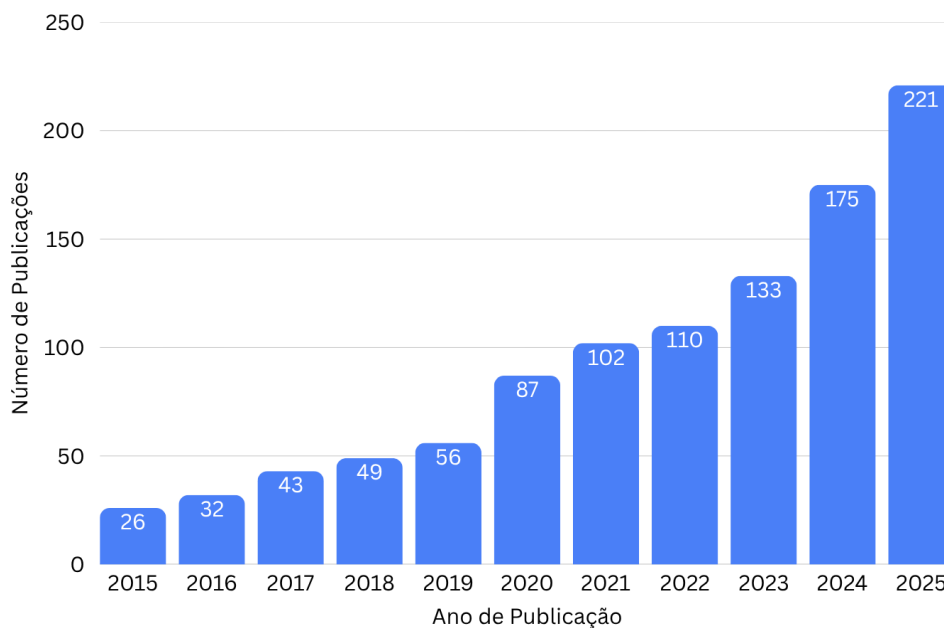
3.3 EVOLUÇÃO TEMPORAL DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA

3.3.1 Análise global da produção de artigos

A análise da produção científica entre 2015 e 2025 (Figura 2) mostra um crescimento contínuo das pesquisas sobre o uso de microrganismos no controle de pragas agrícolas. Em 2015, foram registradas 26 publicações, enquanto em 2025 esse número chegou a 221, evidenciando uma expansão significativa do interesse científico pelo tema.

Nos primeiros anos, o crescimento ocorreu de forma gradual, passando de 26 publicações em 2015 para 56 em 2019. A partir de 2020, porém, observa-se uma aceleração mais evidente, com 87 publicações, seguida de 102 em 2021, 110 em 2022 e 133 em 2023. Esse aumento pode estar relacionado à busca por alternativas mais sustentáveis ao uso convencional de pesticidas, bem como ao maior interesse pelo controle biológico e pelo manejo integrado de pragas.

Figura 2. Gráfico sobre o número da produção de artigos por ano, de 2015 à 2025.



Fonte: Autores, 2026.

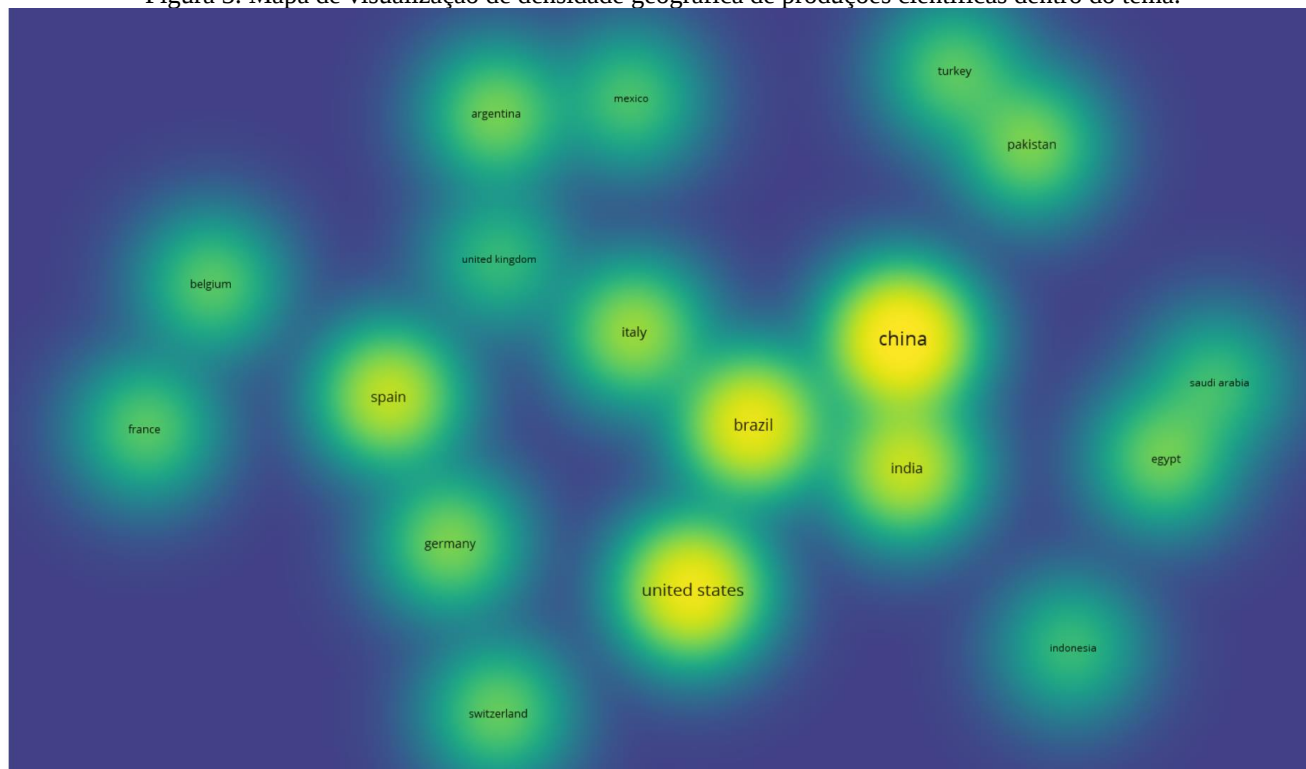
O crescimento se torna ainda mais evidente nos últimos anos, com 175 publicações em 2024 e 221 em 2025, o maior valor de toda a série. Esse resultado indica que o tema permanece em expansão e vem ganhando espaço na pesquisa agrícola. A crescente preocupação com os impactos ambientais dos pesticidas, a resistência de pragas e a necessidade de sistemas agrícolas mais sustentáveis podem ajudar a explicar esse cenário.

É importante destacar que o gráfico, por si só, não permite afirmar quais fatores foram responsáveis pelo aumento das publicações. No entanto, ele demonstra claramente que o uso de microrganismos no controle de pragas é uma área de pesquisa cada vez mais relevante.

Assim, os resultados evidenciam uma tendência consistente de crescimento da produção científica, reforçando o potencial dos microrganismos como ferramentas para o desenvolvimento de estratégias de controle de pragas mais sustentáveis. Esse avanço também destaca a importância de continuar investindo em pesquisas que avaliem sua eficiência, segurança ambiental e aplicação prática na agricultura.

Através da Figura 3 pode-se observar a visualização de densidade geográfica de produções científicas, gerada a partir do mapeamento de países. As regiões em tom amarelo brilhante identificam os principais focos de concentração e relevância na área estudada.

Figura 3. Mapa de visualização de densidade geográfica de produções científicas dentro do tema.



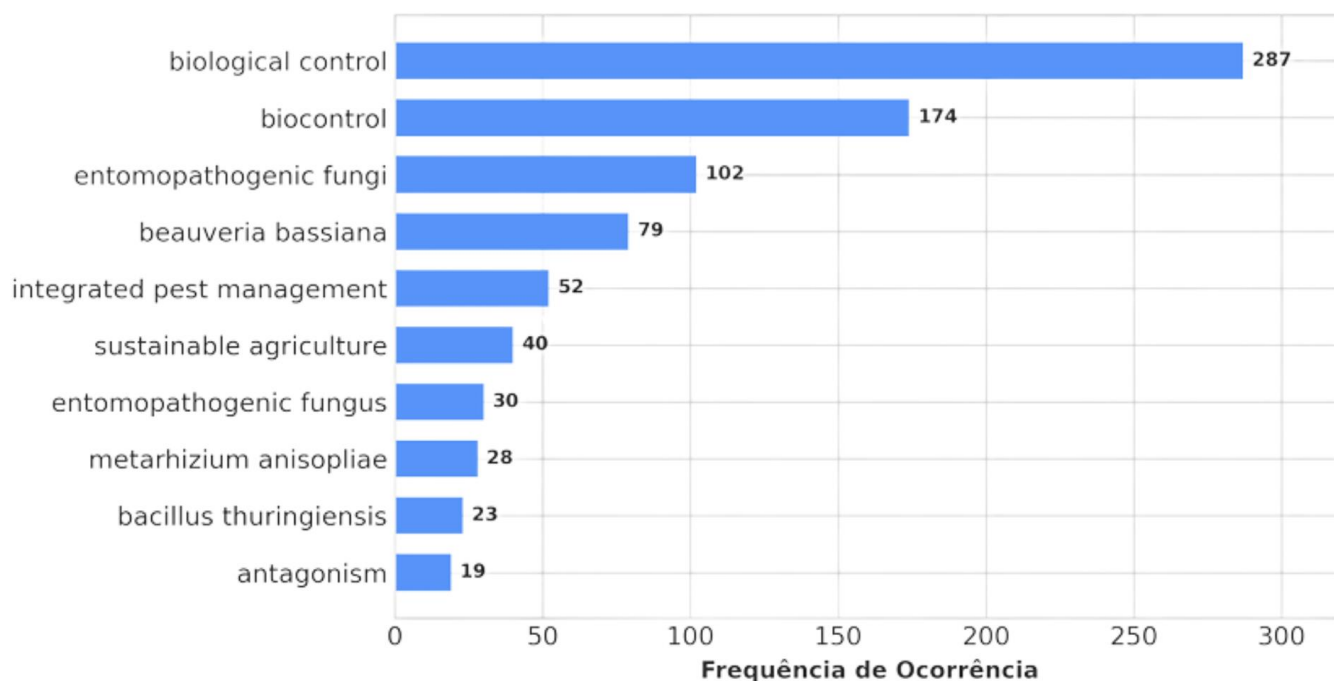
Fonte: Autores, 2026.

Observa-se a predominância da China e dos Estados Unidos como os maiores polos globais de densidade acadêmica. Destaca-se também o papel central de países como Brasil e Espanha, que atuam como importantes pontes de conexão entre diferentes redes de colaboração. Enquanto a Europa continental forma um cluster coeso e bem distribuído (incluindo Espanha, Itália, Alemanha e Reino Unido), países emergentes e do Oriente Médio (como Turquia, Paquistão e Egito) mostram uma consolidação periférica, sinalizando áreas de expansão recente no campo de pesquisa.

3.3.2 Palavras-chave em destaque

Observa-se uma clara hegemonia dos termos gerais *biological control* (287) e *biocontrol* (174), confirmando a centralidade do tema. A Figura 4 ilustra a frequência de ocorrência das principais palavras-chave identificadas na literatura analisada.

Figura 4. Gráfico da frequência de ocorrência das principais palavras-chave.

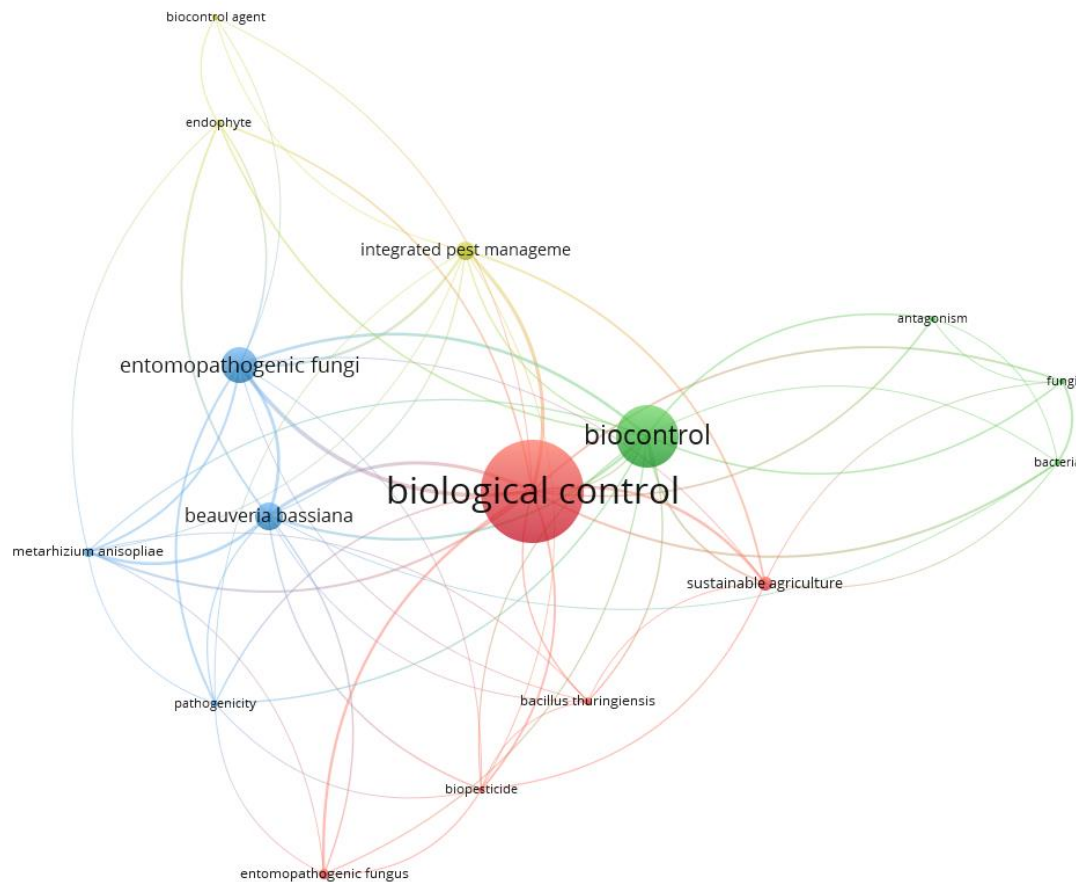


Fonte: Autores, 2026.

Dentre os agentes biológicos, os fungos entomopatogênicos apresentam um papel de destaque expressivo, sendo sobressalentes tanto na terminologia geral quanto na especificação taxonômica. A espécie *Beauveria bassiana* sobressai-se como o organismo mais investigado (79), superando outros importantes agentes de controle como *Metarhizium anisopliae* (28) e *Bacillus thuringiensis* (23). Além disso, os dados revelam uma forte associação da temática com abordagens aplicadas e sustentáveis de produção, evidenciada pela presença constante dos conceitos de *integrated pest management* (52) e *sustainable agriculture* (40), além de aspectos mecanísticos como o *antagonism* (19).

Através do VOSviewer é possível elaborar uma visualização das redes de conexões entre as palavras-chave mais utilizadas. Assim, a partir da Figura 5 pode-se observar a formação de três agrupamentos e suas relações.

Figura 5. Mapa das redes de conexões entre as palavras-chave destaques.

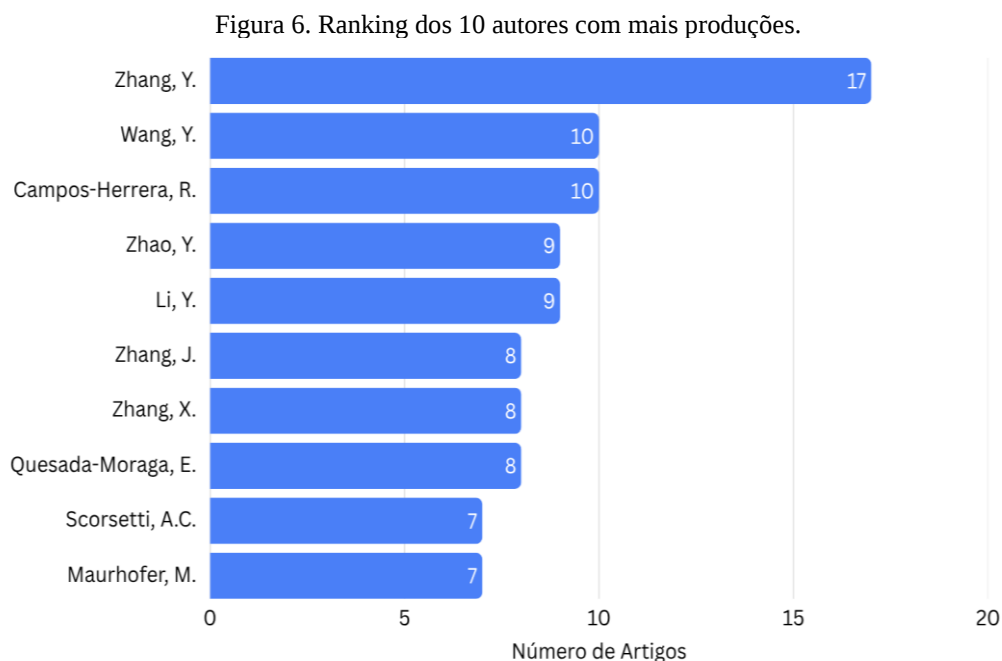


Fonte: Autores, 2026.

O tamanho dos nós reflete a frequência dos termos, enquanto as arestas indicam a força de coocorrência entre eles. Observa-se que *biological control* e *biocontrol* atuam como os hubs centrais da rede, articulando os demais subcampos. O mapeamento permitiu a identificação de agrupamentos temáticos distintos: o cluster de entomopatogenicidade (azul) destaca a relevância dos fungos no biocontrole, com forte acoplamento entre os termos genéricos (*entomopathogenic fungi*) e espécies-chave como *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, associados ao atributo de *pathogenicity*; o cluster de insumos e sustentabilidade (vermelho) conecta a prática do controle biológico ao desenvolvimento de novos insumos (*biopesticide*, *Bacillus thuringiensis*) e à sua finalidade em *sustainable agriculture*; e o cluster de manejo integrado (amarelo) integra conceitos de nível sistêmico (*integrated pest management*) a aspectos ecológicos da interação planta-microrganismo (*endophyte* e *biocontrol agent*).

3.3.3 Principais autores e periódicos

A liderança acadêmica na área é representada por pesquisadores com expressiva produtividade e volume de citações. O autor mais produtivo no conjunto de dados é Zhang Y., com 17 publicações e 446 citações, seguido por Wang Y. e Campos-Herrera R. com 10 artigos cada, conforme Figura 6.



Fonte: Autores, 2026.

Entretanto, esta configuração muda ao se elaborar um ranking sobre os autores mais citados. A análise dos autores com maior citação evidencia a presença de pesquisadores com diferentes níveis de contribuição e impacto no campo do uso de microrganismos no controle de pragas agrícolas. Entre os dez autores apresentados, foram contabilizados 93 documentos e 2.341 citações, correspondendo a uma média geral de aproximadamente 25,2 citações por documento, dados dispostos na Tabela 2.

Tabela 2. Ranking quanto aos autores mais citados.

Autor	Número de artigos	Citações	Média de citações
Zhang, Y.	17	446	26,24
Li, Y.	9	363	40,33
Quesada-Moraga, E.	8	343	42,88
Maurhofer, M.	7	285	40,71
Scorsetti, A.C.	7	222	31,71
Campos-Herrera, R.	10	170	17,00
Zhao, Y.	9	143	15,89
Zhang, X.	8	141	17,62
Zhang, J.	8	120	15,00
Wang, Y.	10	108	10,80

Fonte: Autores, 2026.

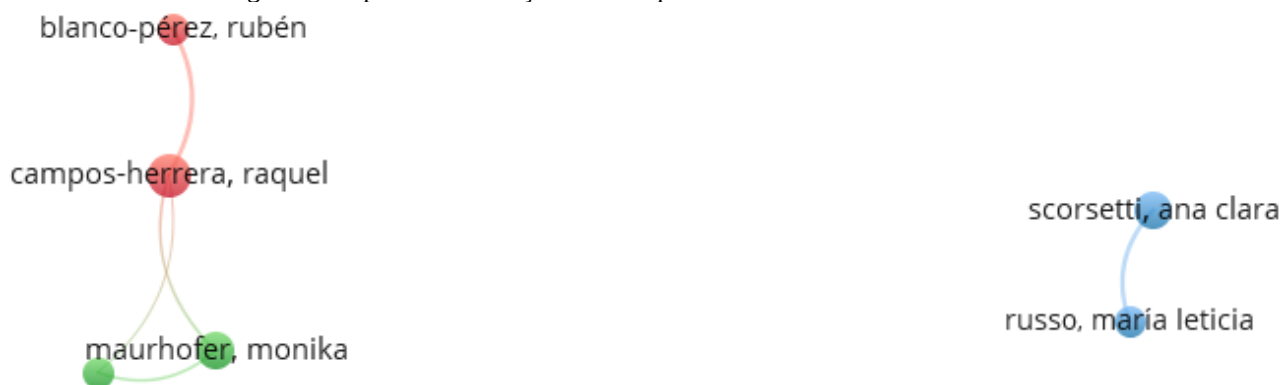
Os dados mostram uma participação expressiva de um grupo de pesquisadores na produção científica sobre o uso de microrganismos no controle de pragas agrícolas. Entre os autores analisados, Zhang Y. apresenta a maior produtividade, com 17 documentos e 446 citações, destacando-se pela quantidade de trabalhos publicados.

Quando considerado o impacto médio das publicações, os maiores valores pertencem a Quesada-Moraga E. (42,88 citações/documento), Maurhofer M. (40,71) e Li Y. (40,33). Apesar de possuírem menos documentos que Zhang Y., esses autores apresentam trabalhos com maior repercussão na literatura científica.

De modo geral, os resultados mostram que produtividade e impacto científico não são necessariamente proporcionais. Enquanto alguns pesquisadores se destacam pelo volume de publicações, outros apresentam maior influência por trabalho publicado.

As relações de co-autoria também fazem parte das análises bibliométricas. A visualização de rede gerada no VOSviewer apresenta a rede de coautoria dos autores identificados no conjunto de documentos analisados. A partir da visualização, observa-se a formação de dois agrupamentos principais, indicando diferentes núcleos de colaboração científica entre os pesquisadores, conforme Figura 7.

Figura 7. Mapa de visualização de rede quanto a rede de coautoria dos autores.

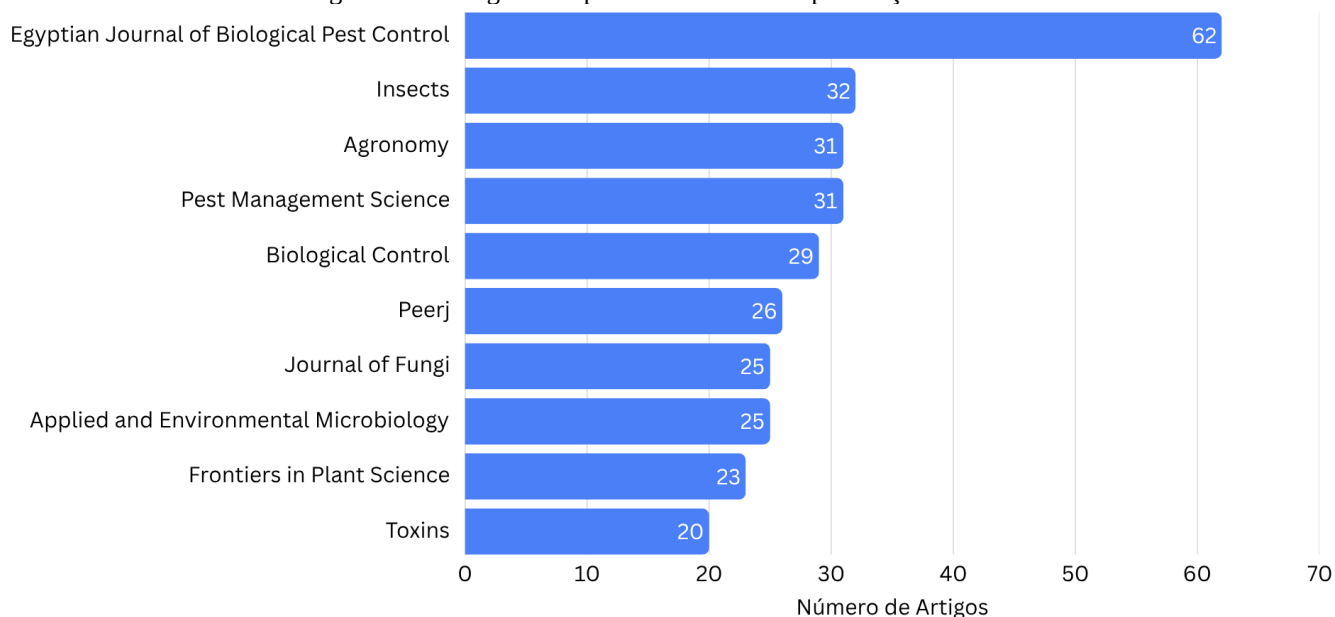


Fonte: Autores, 2026.

A ausência de conexões entre os dois agrupamentos e a formação de um número maior dessas redes demonstram que, no conjunto de documentos analisados, não foram identificadas relações de coautoria entre os pesquisadores pertencentes aos diferentes clusters. Dessa forma, a rede evidencia uma estrutura de colaboração científica relativamente fragmentada, formada por grupos de pesquisadores que desenvolvem seus trabalhos de maneira mais concentrada dentro de seus próprios núcleos de colaboração.

A Figura 8 apresenta os dez periódicos com maior volume de publicação relacionados à temática investigada. Observa-se uma predominância expressiva do *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, que concentrou 62 artigos, destacando-se consideravelmente em relação aos demais periódicos. Na sequência, encontram-se *Insects*, com 32 artigos, e *Agronomy* e *Pest Management Science*, ambos com 31 artigos publicados.

Figura 8. Ranking dos 10 periódicos com mais publicações no tema.

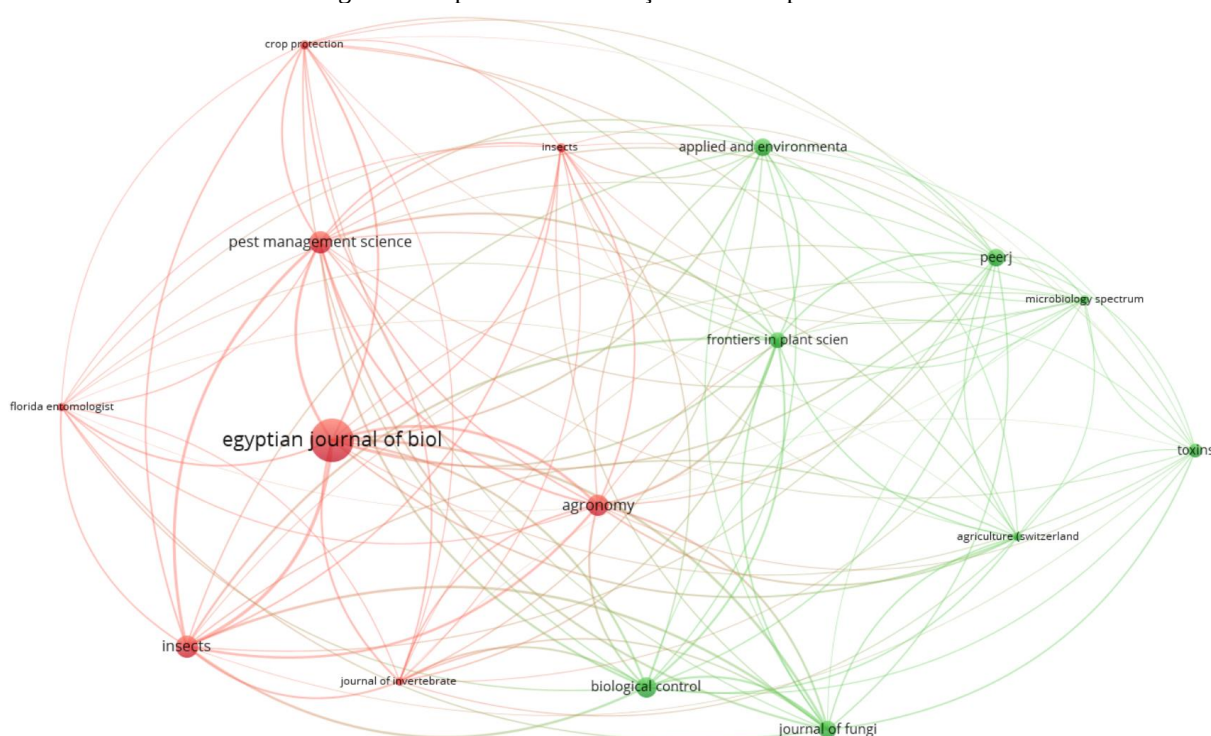


Fonte: Autores, 2026.

A distribuição observada demonstra que a produção científica sobre a temática está concentrada principalmente em periódicos diretamente relacionados ao controle biológico, entomologia, manejo de pragas, agronomia e microbiologia. O destaque do *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, responsável por 62 publicações, evidencia a importância desse periódico como um dos principais veículos de divulgação dos estudos analisados. Por outro lado, a presença de periódicos de diferentes áreas, como *Journal of Fungi*, *Applied and Environmental Microbiology* e *Toxins*, demonstra o caráter interdisciplinar da temática, envolvendo aspectos relacionados à microbiologia, fungos, agentes biológicos e produção de metabólitos ou toxinas com potencial aplicação no controle de pragas agrícolas.

Já a Figura 9, apresenta a rede de relacionamento entre os periódicos que se destacaram na produção científica analisada, elaborada também por meio do software VOSviewer. É possível observar a formação de dois agrupamentos principais, identificados pelas cores vermelha e verde, os quais demonstram diferentes núcleos de relacionamento entre os periódicos.

Figura 9. Mapa da rede de relações entre os periódicos.



Fonte: Autores, 2026.

O agrupamento representado em vermelho concentra periódicos relacionados principalmente ao manejo e controle de pragas agrícolas, destacando-se o *Egyptian Journal of Biological Pest Control* como um dos nós centrais da rede, devido ao seu maior tamanho e à quantidade de conexões estabelecidas. Também apresentam posição de destaque nesse agrupamento *Pest Management Science*, *Insects*,

Agronomy, Crop Protection e Florida Entomologist. A proximidade e a quantidade de ligações entre esses periódicos indicam uma forte associação temática com estudos voltados ao controle de pragas, proteção de cultivos e entomologia agrícola. O agrupamento verde, por sua vez, apresenta maior associação com controle biológico, microbiologia e ciências vegetais, reunindo periódicos como *Applied and Environmental Microbiology, Frontiers in Plant Science, PeerJ, Biological Control, Journal of Fungi, Toxins e Microbiology Spectrum*. A presença desses periódicos destaca a participação de abordagens microbiológicas e biotecnológicas nas pesquisas relacionadas ao controle biológico de pragas.

4 CONCLUSÃO

A análise bibliométrica realizada proporcionou um panorama abrangente sobre a estrutura conceitual, intelectual e de disseminação da pesquisa em controle biológico. Os resultados revelam que o campo se organiza em torno do paradigma do manejo sustentável de pragas, fundamentado essencialmente na utilização de microrganismos entomopatogênicos.

Do ponto de vista conceitual, os termos genéricos *biological control e biocontrol* figuram como os principais eixos articuladores da produção científica. A análise das redes de palavras-chave evidenciou que a literatura se estrutura em três domínios integrados: a entomopatogenicidade (com papel proeminente e destacado da espécie *Beauveria bassiana* em relação aos demais agentes), o desenvolvimento de insumos biotecnológicos (*biopesticides e Bacillus thuringiensis*) voltados à agricultura sustentável, e o manejo integrado de pragas, que conecta abordagens ecológicas sistêmicas à interação planta-microrganismo.

Em relação à estrutura de autoria, os dados demonstraram que quantidade e impacto científico seguem dinâmicas distintas. Embora pesquisadores como Zhang Y. liderem o volume de produção, autores como Quesada-Moraga E., Maurhofer M. e Li Y. destacam-se por apresentar os maiores índices de citação por documento, denotando elevada repercussão de suas publicações. Além disso, a análise da rede de coautoria revelou uma comunidade científica relativamente fragmentada, caracterizada por núcleos de colaboração isolados, sem interconexões diretas entre os agrupamentos principais.

Por fim, a disseminação do conhecimento científico sobre o tema apresenta-se altamente concentrada e, ao mesmo tempo, interdisciplinar. O *Egyptian Journal of Biological Pest Control* sobressai-se como o principal veículo em volume de artigos publicados e como nó central da rede de citações/relações acadêmicas. A coexistência de dois grandes *clusters* de periódicos, um voltado à entomologia e proteção vegetal aplicada e outro focado em microbiologia, biotecnologia e ciências vegetais, reafirma o caráter transdisciplinar da área, que transita de forma contínua da bancada biotecnológica e microbiológica para a aplicação direta no campo.

REFERÊNCIAS

- BOAVENTURA, H. A.; QUINTELA, E. D. (2025). The multifunctionality of the fungus *Metarhizium* spp. and its use in Brazilian agriculture. **Bragantia**, v. 84, p. e20240183. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20240183>.
- CHAUDHARY, R. et al. Microbial Bio-control Agents: A Comprehensive Analysis on Sustainable Pest Management in Agriculture. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 18, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101421>.
- DENG, X. et al. Bio-organic soil amendment promotes the suppression of *Ralstonia solanacearum* by inducing changes in the functionality and composition of rhizosphere bacterial communities. **New Phytologist**, v. 235, n. 5, p. 2008-2023, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.18221>.
- EDIAGBONYA, T. F. et al. Reduced pesticide dependency through crop management. **Discover Applied Sciences**, v. 7, n. 7, 2025. DOI: [10.1007/s42452-025-07248-y](https://doi.org/10.1007/s42452-025-07248-y).
- GARCÍA-PEDRAJAS, M. D. et al. Mycoviruses in biological control: From basic research to field implementation. **Phytopathology**, v. 109, n. 12, p. 2000-2010, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-19-0166-RVW>.
- GUO, Z. et al. MAPK Signaling Pathway Alters Expression of Midgut ALP and ABCC Genes and Causes Resistance to *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac Toxin in Diamondback Moth. **PLoS Genetics**, v. 11, n. 4, e1005124, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1005124>.
- HANIF, A. et al. Fengycin produced by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 inhibits *Fusarium graminearum* growth and mycotoxins biosynthesis. **Toxins**, v. 11, n. 5, p. 295, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins11050295>.
- HASSAN, W.; DUARTE, A. Bibliometric analysis: A few suggestions. **Current Problems in Cardiology**, v. 49 e. 102640, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2024.102640>. Acesso em: 13 jul. 2025.
- PRETTY, J.; BHARUCHA, Z. P. Integrated Pest Management for Sustainable Intensification of Agriculture in Asia and Africa. **Insects**, v. 6, n. 1, p. 152-182, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects6010152>.
- PUNJA, Z. K. et al. Pathogens and Molds Affecting Production and Quality of *Cannabis sativa* L. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1120, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01120>.
- RONI, M. et al. Characterization and biotoxicity of *Hypnea musciformis*-synthesized silver nanoparticles as potential eco-friendly control tool against *Aedes aegypti* and *Plutella xylostella*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 121, p. 24-30, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.07.005>.
- SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, A. R. et al. An endophytic *Beauveria bassiana* strain increases spike production in bread and durum wheat plants and effectively controls cotton leafworm (*Spodoptera littoralis*) larvae. **Biological Control**, v. 116, p. 90-102, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.01.012>.

SANI, I. et al. A review of the biology and control of whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), with special reference to biological control using entomopathogenic fungi. **Insects**, v. 11, n. 9, p. 619, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects11090619>.

TATARIDAS, A. et al. Sustainable Crop and Weed Management in the Era of the EU Green Deal: A Survival Guide. **Agronomy**, v. 12, n. 3, p. 589, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12030589>.

VAN LENTEREN, J. C. et al. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. **BioControl**, v. 63, n. 1, p. 39-59, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10526-017-9801-4>.

VILLAVICENCIO-VÁSQUEZ, M. et al.. Biological control agents: mechanisms of action, selection, formulation and challenges in agriculture. **Frontiers in Agronomy**, v. 27, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1578915>.