

CONTROLE BIOLÓGICO DE DOENÇAS DE PLANTAS: CENÁRIO ATUAL E DESAFIOS FUTUROS

Anna Júlia de Oliveira Lucas Mendes, Davi Reali Colombo, Jordania Bolzan do Santos, Karulina Ribeiro Oggioni, Yasmin Rodrigues de Melo, Simone de Paiva Caetano Bucker Moraes, Willian Bucker Moraes

Universidade Federal do Espírito Santo / Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Manejo Fitossanitário de Pragas e Doenças, Alto Universitário, s/nº, Guararema – 29500-000 – Alegre-ES, Brasil, deoliveiralucasmendesannajulia@gmail.com, davicolombo@icloud.com, jordaniabolzan@gmail.com, karulinaoggioni13@gmail.com, meloyasmim306@gmail.com, simonepaivabucker@gmail.com, willian.moraes@ufes.br

Resumo

O controle biológico de doenças de plantas tem ganhado destaque como alternativa sustentável ao uso intensivo de defensivos químicos, frente aos impactos ambientais e à resistência de fitopatógenos. Este trabalho teve como objetivo revisar os avanços no uso de microrganismos antagonistas, fungos e bactérias, no manejo de doenças agrícolas, destacando seus mecanismos de ação e desafios para a adoção em larga escala. A metodologia consistiu em levantamento bibliográfico em bases científicas, utilizando palavras-chave relacionadas ao biocontrole e aos desafios futuros da área. Os resultados evidenciam o crescimento expressivo das pesquisas nas últimas décadas, bem como o potencial da rizosfera como fonte de agentes de biocontrole e a aplicação de consórcios de microrganismos no manejo integrado. No entanto, limitações como a estabilidade dos bioformulados, custos de produção, aceitação pelo agricultor e variabilidade de eficácia em campo ainda dificultam sua expansão. Conclui-se que, apesar dos desafios, o controle biológico representa uma ferramenta promissora para uma agricultura mais sustentável, contribuindo para a segurança alimentar global.

Palavras-chave: Fitopatógenos. Fitopatologia. Sustentabilidade. Bioformulados.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias (Agronomia)

Introdução

As perdas agrícolas causadas por fitopatógenos representam um problema significativo para a produção de alimentos. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), cerca de 40% da produção de alimentos atualmente é perdida por pragas e doenças (FAO, 2022). Em um contexto mundial cada vez mais globalizado e interconectado, patógenos de plantas ultrapassam fronteiras e se expandem com maior facilidade para novas áreas. Somado a isso, as mudanças climáticas têm contribuído com este processo, pois promovem condições favoráveis para o desenvolvimento e estabelecimento destas doenças em novas áreas.

Entre as estratégias de controle de doenças em plantas, destaca-se o uso de microrganismos como agentes de biocontrole de fitopatógenos, prática que vem sendo cada vez mais utilizada, uma vez que o uso excessivo de moléculas químicas resulta em poluição ambiental (Ayaz *et al.*, 2023) e favorece o surgimento de resistência dos patógenos, quando utilizado de forma repetitiva e intensiva (Singh *et al.*, 2009). Atualmente, o controle biológico tem recebido cada vez mais atenção dos pesquisadores, pois vem apresentando um grande potencial como agentes de biocontrole de doenças de plantas, tanto pré quanto pós-colheita, além de ser uma estratégia ecológica (Collinge *et al.*, 2022).

O uso de agentes de biocontrole é crescente na agricultura, pois além de proteger as plantas contra os ataques de fitopatógenos, promovem o crescimento vegetal (El Saadony *et al.*, 2022). Os microrganismos antagonistas têm se mostrado promissores para o controle de doenças de plantas, pois apresentam uma ampla gama de mecanismos, podendo utilizá-los para proteger a planta de futuras infecções ou para reduzir a severidade da doença (Bonaterra *et al.*, 2022).

É necessário manejar de forma racional e sustentável as doenças de plantas, para garantir uma redução nas perdas econômicas, preservar o potencial produtivo e que os produtos biológicos utilizados tenham qualidade, para, consequentemente, garantir a segurança alimentar da população mundial.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Embora os investimentos em pesquisas para verificar o potencial dos microrganismos para o controle de doenças de plantas esteja aumentando, ainda existem alguns fatores limitantes para este novo mercado como: alta disponibilidade dos produtos no mercado, estabilidade dos produtos em condições de campo e a não aceitação dos bioformulados pelos agricultores (Lahlali *et al.*, 2022). O objetivo desta revisão de literatura é discutir os avanços na utilização de microrganismos antagonistas aos fitopatógenos, com ênfase em seus mecanismos de ação e perspectivas futuras para uma maior utilização de agentes de biocontrole, sejam eles fungos ou bactérias.

Metodologia

Foi realizada uma busca na literatura online, em lista de bases como Portal de Periódicos CAPES, 'Web of Science' e Google Acadêmico, sobre o controle biológico de doenças de plantas. Foram utilizadas variadas combinações das palavras-chaves, como: 'biological control', 'mechanisms', 'future challenges', 'plant diseases', 'advances', 'antagonistic microorganism', 'plant pathogens' e 'biocontrol agents'. Foi utilizado também o site da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) para obtenção de informações dos impactos causados pelas doenças de plantas.

Resultados

A pesquisa com microrganismos para controle de doenças de plantas está em ascensão, quando é feita a busca no Google acadêmico com as palavras chaves 'biological control of plant disease', podemos perceber que houve um aumento expressivo de registros. Entre os anos 2000 até 2010 foram registradas aproximadamente 23.300 publicações, já entre os anos de 2010 até 2025 houve 41.500 registros de publicações. Esse crescimento demonstra não só o interesse acadêmico, mas também reflete uma mudança no cenário agrícola atual, que estão priorizando o controle biológico, a fim de promover uma agricultura mais sustentável.

A rizosfera é uma região do solo que circunda as raízes das plantas, onde apresenta uma grande diversidade de microrganismos, sendo potencialmente um reservatório de fungos e bactérias benéficos para as plantas (Mohanram e Kumar, 2019), podendo ajudá-las a reduzir a atividade dos patógenos e até mesmo torná-las resistentes às doenças e estresses abióticos (Tena, 2018). Esses microrganismos encontrados na rizosfera das plantas têm potencial para serem formulados como agentes biofúncidas e bionemáticas.

Os bioformulados inicialmente apresentam um valor alto para investimento e apresentam seus resultados em prazos mais longos, quando comparados as moléculas químicas. Entretanto, os bioformulados têm um potencial benéfico muito alto a longo prazo para a agricultura (Seenivasagan e Babalola, 2021). Atualmente, existem cerca de mais de 440 espécies de microrganismos para o controle de doenças e pragas (Van Lenteren *et al.*, 2018).

É comum a aplicação de microrganismos em consórcios, ou seja, em combinações, seja de cepas ou espécies diferentes, com um objetivo de controlar diferentes patógenos com mecanismos diferentes de cada espécie. Em contrapartida, é difícil demonstrar a eficácia significativa da combinação de diferentes agentes de biocontrole (Xu *et al.*, 2011), assim como garantir que diferentes microrganismos consigam operar juntos e que seus mecanismos não serão incompatíveis.

Há uma crescente no uso de bioformulados para o manejo de doenças pós-colheita, os consumidores têm mostrado mais sensibilidade quanto ao uso de moléculas químicas para tratamento pós-colheita do que durante o desenvolvimento da cultura (Collinge *et al.*, 2022). O tratamento pós-colheita pode ser eficiente contra diversas espécies de fitopatógenos deteriorantes, como: *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Botrytis cinerea*, *Rhizopus* spp., entre outros patógenos.

No entanto, o desempenho desses agentes de biocontrole pode ser variado dependendo da taxa de sobrevivência no solo, compatibilidade com a cultura e da interação com as outras espécies já existentes no local e fatores ambientais (Vejan *et al.*, 2016). O desempenho desses agentes é melhor em condições controladas, como testes *in vitro* e em casas de vegetação, que são etapas cruciais para garantir a viabilidade e a eficácia para a produção comercial do bioformulado.

Um dos maiores desafios é a estabilidade dos bioformulados, pois sofrem influência do método de aplicação, tipo de formulação, transporte e das condições que este produto será armazenado. Para garantir a sobrevivência desses agentes de biocontrole, deve-se investir em alta tecnologia de

formulação (Lobo *et al.* 2019), aumentar a vida útil do produto e alcançar uma produção de baixo custo em larga escala (El-Saadony *et al.*, 2022).

Discussão

O aumento significativo do número de publicações relacionadas ao controle biológico de doenças de plantas nas últimas décadas reflete uma tendência global em busca de um manejo mais sustentável, e está associado as pressões sociais e ambientais por práticas mais seguras e agressivas ao meio ambiente, além de atender os consumidores que estão cada vez mais exigentes quanto a qualidade dos alimentos. Apesar do aumento das pesquisas voltadas para o controle biológico, o controle químico ainda é o método de controle mais utilizado para o manejo de fitopatógenos (ARIA *et al.*, 2025).

Os agentes de biocontrole, quando testados em condições controladas (*in vitro* e em casa de vegetação), são mais eficazes em comparação aos experimentos conduzidos em campo (AYAZ *et al.*, 2023), isso ocorre por conta das interações complexas que ocorrem entre o hospedeiro, patógeno, o agente de biocontrole e o meio ambiente, além de que a eficiência pode ser afetada em decorrência dos comportamentos do patógenos (WHIPPS, 2001).

A tendência atual é o consórcio de agentes de biocontrole com o intuito de potencializar o controle de patógenos e promover o crescimento das plantas. Entretanto, deve-se verificar a compatibilidade entre as espécies ou cepas, para verificar se não há efeito supressor de uma cepa sobre a outra, tendo impacto na eficiência do controle (SARMA *et al.*, 2015). Caso as cepas sejam compatíveis pode aumentar a eficácia do biocontrole. O estudo realizado por Jetiyanon (2007) mostrou que o consórcio de duas cepas diferentes de *Bacillus* spp. aumentou a atividade das enzimas: superóxido dismutase e peroxidases entre 20% até 25% no tomate e na pimenta caiena contra patógenos como: *Colletotrichum gloeosporioides*, *Ralstonia solanacearum* e *Sclerotium rolfsii*.

Atualmente, tem-se investido cada vez mais na utilização de controle biológico pós-colheita, pois os produtos que são consumidos frescos podem conter resíduos de moléculas químicas que fazem mal para a saúde humana. O manuseio dos produtos frescos é bem crítico, pois a contaminação pode ocorrer durante o transporte, armazenamento ou processamento (ALLENDE; TRUCHADO; GIL, 2025). No estudo realizado por Petermann *et al.* (2025), verificou-se que diferentes espécies de *Bacillus* reduziram a germinação de conídios e o crescimento micelial, além de suprimir a podridão amarga em maçãs.

Os fitopatógenos são uma ameaça para a segurança alimentar, por isso, o controle biológico vem sendo utilizados cada vez mais, afim de ter uma agricultura mais sustentável. Apesar da sua eficácia, existem vários desafios a serem superados. Os bioformulados apresentam ótimos resultados em laboratório, mas quando utilizado em campo o desempenho não é tão satisfatório, isso se dá pelas variações ambientais, portanto, é necessário fazer experimentos testando vários tipos de solos e diversas condições climáticas (RAI *et al.*, 2024).

A comercialização dos bioformulados é muito desafiadora, apresentam um alto custo para seu desenvolvimento. Entretanto, a busca pelos agentes de biocontrole vem aumentando, por questões como a evolução da resistência dos fitopatógenos às moléculas químicas. As empresas enfrentam dificuldades para determinar a formulação ideal, da escolha do modo de implementação e a produção em larga escala (COLLINGE *et al.*, 2022). Existem grandes desafios após o registro dos bioformulados, pois é necessário convencer os agricultores da capacidade deste novo produto em fornecer a mesma ou uma melhor proteção que os produtos já existentes no mercado (VELIVELLI *et al.*, 2014).

Conclusão

O controle biológico de doenças de plantas aparece como uma alternativa estratégica para reduzir a dependência de moléculas químicas e promover práticas agrícolas mais sustentáveis. A literatura evidencia que os microrganismos antagonistas, isolados ou em consórcios, apresentam ampla gama de mecanismos capazes de suprimir fitopatógenos e, em alguns casos, estimular o crescimento vegetal. Contudo, ainda existem desafios significativos para sua consolidação no campo, entre eles a variabilidade de desempenho em condições ambientais distintas, a formulação de produtos mais estáveis e duradouros, os custos de produção e a necessidade de maior aceitação pelos agricultores. Apesar das barreiras, o interesse crescente da comunidade científica e o aumento expressivo das publicações na área revelam que o controle biológico está em franca ascensão e tende a ocupar papel

central no manejo integrado de doenças. Investimentos em pesquisa aplicada, desenvolvimento tecnológico e políticas públicas de incentivo podem acelerar a transição para uma agricultura menos dependente de defensivos químicos, capaz de atender tanto à demanda por segurança alimentar quanto às exigências ambientais e sociais.

Referências

- ALLENDE, A.; TRUCHADO, P.; GIL, M. I. Combatting Microbial Hazards Associated with Fresh Produce. In: **Antimicrobial Strategies in the Food System: Updates, Opportunities, Challenges**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025. p. 283-305.
- ARIA, F.R. et al. An overview of biological control of plant disease in Afghanistan. **Biological Control**, v. 204, e105753, 2025.
- AYAZ, M. et al. Bacterial and fungal biocontrol agents for plant disease protection: Journey from lab to field, current status, challenges, and global perspectives. **Molecules**, v. 28, n. 18, p. 6735, 2023.
- BONATERRA, A. et al. Bacteria as biological control agents of plant diseases. **Microorganisms**, v. 10, n. 9, p. 1759, 2022.
- COLLINGE, D.B. et al. Biological control of plant diseases—What has been achieved and what is the direction?. **Plant Pathology**, v. 71, n. 5, p. 1024-1047, 2022.
- EL-SAADONY, M.T. et al. Plant growth-promoting microorganisms as biocontrol agents of plant diseases: Mechanisms, challenges and future perspectives. **Frontiers in plant science**, v. 13, p. 923880, 2022.
- Food and Agriculture Organization (FAO). News: banco de dados. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1528084/>. Acessado em: 15/08/2025.
- JETIYANON, K. Defensive-related enzyme response in plants treated with a mixture of Bacillus strains (IN937a and IN937b) against different pathogens. **Biological control**, v. 42, n. 2, p. 178-185, 2007.
- LAHLALI, R. et al. Biological control of plant pathogens: A global perspective. **Microorganisms**, v. 10, n. 3, p. 596, 2022.
- LOBO, Constanza Belén et al. Development of low-cost formulations of plant growth-promoting bacteria to be used as inoculants in beneficial agricultural technologies. **Microbiological research**, v. 219, p. 12-25, 2019.
- MOHANRAM, Saritha; KUMAR, Praveen. Rhizosphere microbiome: revisiting the synergy of plant-microbe interactions. **Annals of Microbiology**, v. 69, n. 4, p. 307-320, 2019.
- PETERMANN, Débora et al. Bacillus Species Interfere with Infective Structures of Colletotrichum spp. and Reduce Symptoms of Apple Bitter Rot in Post-Harvest. **Plant Disease**, n. ja, 2025.
- RAI, Samaksh et al. Liquid bioformulation: a trending approach towards achieving sustainable agriculture. **Molecular Biotechnology**, v. 66, n. 10, p. 2725-2750, 2024.
- SARMA, Birinchi Kumar et al. Microbial consortium-mediated plant defense against phytopathogens: readdressing for enhancing efficacy. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 87, p. 25-33, 2015.
- SEENIVASAGAN, Renganathan; BABALOLA, Olubukola Oluranti. Utilization of microbial consortia as biofertilizers and biopesticides for the production of feasible agricultural product. **Biology**, v. 10, n. 11, p. 1111, 2021.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

SINGH, H. B. et al. Biological control of plant diseases: current status and future prospects. New Delhi: Biotechnological Applications. New Indian Publishing Agency, 2009.

TENA, Guillaume. Recruiting microbial bodyguards. **Nature Plants**, v. 4, n. 11, p. 857-857, 2018.

VAN LENTEREN, Joop C. et al. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. **BioControl**, v. 63, n. 1, p. 39-59, 2018.

VEJAN, Pravin et al. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability-a review. **Molecules**, v. 21, n. 5, p. 573, 2016.

WHIPPS, John M. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. **Journal of experimental Botany**, v. 52, n. suppl_1, p. 487-511, 2001.

XU, X.-M. et al. Combined use of biocontrol agents to manage plant diseases in theory and practice. **Phytopathology**, v. 101, n. 9, p. 1024-1031, 2011.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Epidemiologia e Manejo de Doenças de Plantas Agrícolas e Florestais (LEMP) e ao Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Manejo Fitossanitário de Pragas e Doenças (NUDEMAFI), da Universidade Federal do Espírito Santo – Campus Alegre, pela infraestrutura para realização deste estudo, e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.