REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

MICROBIOLIZAÇÃO DE SEMENTES: IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE FISIOLÓGICA E SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA

SEED MICROBIOLIZATION: IMPLICATIONS FOR PHYSIOLOGICAL QUALITY AND AGRICULTURAL SUSTAINABILITY

MICROBIOLIZACIÓN DE SEMILLAS: IMPLICACIONES PARA LA CALIDAD FISIOLÓGICA Y LA SOSTENIBILIDAD AGRÍCOLA

Wander Guilherme da Silva Leles
Mestre em Produção Vegetal no Semiárido, UNIMONTES, Brasil
E-mail: wandergleles@hotmail.com

Andréia Márcia Santos de Souza David
Doutora em Fitotecnia, UNIMONTES, Brasil
E-mail: andreia.david@unimontes.br

João Rafael Prudêncio dos Santos
Doutor em Produção Vegetal no Semiárido, UNIMONTES, Brasil
E-mail: joaorafaelsantos2@yahoo.com.br

Janaína Beatriz Borges
Mestre em Produção Vegetal no Semiárido, UNIMONTES, Brasil
E-mail: janaiinaborges@gmail.com

Jaime Mariano Daipa
Mestre em Fitotecnia, UNIMONTES, Moçambique
E-mail: jaimedaipa@gmail.com

Hemilly Kariny Cardoso Freitas
Mestre em Produção Vegetal no Semiárido, UNIMONTES, Brasil
E-mail: hemilly.agro@gmail.com

Denner Junio Ramos Xavier
Graduado em Agronomia, UNIMONTES, Brasil
E-mail: denerjunio1234@gmail.com

Rodrigo Silva Barbosa
Graduando em Agronomia, UNIMONTES, Brasil
E-mail: rodrigoslv03@gmail.com

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

Resumo

As sementes desempenham papel fundamental na propagação das plantas, sendo frequentemente submetidas a tratamentos químicos e biológicos para preservar sua qualidade fisiológica e sanitária. Entretanto, diante da crescente demanda por práticas agrícolas mais sustentáveis, a microbiolização de sementes tem se destacado como uma alternativa promissora para o manejo fitossanitário e a promoção do crescimento vegetal. Esta revisão narrativa teve como objetivo analisar criticamente a literatura disponível sobre a microbiolização de sementes, abordando seus mecanismos de ação, métodos de aplicação, efeitos sobre a germinação, o vigor, a sanidade das sementes e as perspectivas para sua utilização na agricultura sustentável. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica narrativa nas bases de dados Scopus, Web of Science, PubMed e Google Scholar, priorizando estudos publicados entre 2015 e 2025. As evidências analisadas indicam que a microbiolização pode favorecer a qualidade fisiológica e sanitária das sementes por diferentes mecanismos, incluindo a produção de enzimas hidrolíticas, a disponibilização de nutrientes, a síntese de reguladores de crescimento, o controle biológico de fitopatógenos e a modulação das respostas ao estresse. Contudo, a eficiência da técnica depende da interação entre o microrganismo, a espécie vegetal e as condições ambientais, não existindo um protocolo universal para todas as culturas. Embora não constitua uma solução isolada para os desafios da produção agrícola, a microbiolização apresenta potencial para complementar estratégias de manejo integrado e contribuir para sistemas agrícolas mais sustentáveis.

Palavras-chave: Germinação; Vigor de sementes; *Bacillus*; *Trichoderma*; Bioinoculante.

Abstract

Seeds play a fundamental role in plant propagation and are commonly treated with chemical and biological products to preserve their physiological and sanitary quality. However, increasing demand for more sustainable agricultural practices has highlighted seed microbiolization as a promising alternative for phytosanitary management and plant growth promotion. This narrative review critically analyzes the available literature on seed microbiolization, addressing its mechanisms of action, application methods, effects on seed germination, vigor and sanitary quality, as well as its prospects for sustainable agriculture. A narrative literature review was conducted using the Scopus, Web of Science, PubMed, and Google Scholar databases, prioritizing studies published between 2015 and 2025. The available evidence indicates that seed microbiolization can improve seed physiological and sanitary quality through different mechanisms, including the production of hydrolytic enzymes, nutrient availability, synthesis of plant growth regulators, biological control of phytopathogens, and modulation of plant stress responses. However, the effectiveness of this technique depends on the interaction between the microorganism, the plant species, and environmental conditions, and no universal protocol is currently available for all crops. Although seed microbiolization is not a stand-alone solution to the challenges of agricultural

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

production, it has considerable potential to complement integrated crop management strategies and contribute to more sustainable agricultural systems.
Keywords: Germination; Seed vigor; *Bacillus*; *Trichoderma*; Bioinoculant.

Resumen

Las semillas desempeñan un papel fundamental en la propagación de las plantas y, con frecuencia, son sometidas a tratamientos químicos y biológicos para preservar su calidad fisiológica y sanitaria. Sin embargo, ante la creciente demanda de prácticas agrícolas más sostenibles, la microbiolización de semillas ha surgido como una alternativa prometedora para el manejo fitosanitario y la promoción del crecimiento vegetal. Esta revisión narrativa tuvo como objetivo analizar críticamente la literatura disponible sobre la microbiolización de semillas, abordando sus mecanismos de acción, métodos de aplicación, efectos sobre la germinación, el vigor, la calidad sanitaria de las semillas y sus perspectivas de utilización en la agricultura sostenible. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica narrativa utilizando las bases de datos Scopus, Web of Science, PubMed y Google Scholar, priorizando estudios publicados entre 2015 y 2025. Las evidencias analizadas indican que la microbiolización puede mejorar la calidad fisiológica y sanitaria de las semillas mediante diferentes mecanismos, entre ellos la producción de enzimas hidrolíticas, la disponibilidad de nutrientes, la síntesis de reguladores del crecimiento vegetal, el control biológico de fitopatógenos y la modulación de las respuestas al estrés. No obstante, la eficacia de esta técnica depende de la interacción entre el microorganismo, la especie vegetal y las condiciones ambientales, por lo que no existe un protocolo universal aplicable a todos los cultivos. Aunque la microbiolización no constituye una solución aislada para los desafíos de la producción agrícola, presenta un importante potencial para complementar las estrategias de manejo integrado y contribuir al desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles.
Palabras clave: Germinación; Vigor de semillas; *Bacillus*; *Trichoderma*; Bioinoculante.

1. Introdução

As sementes desempenham um papel essencial no desenvolvimento de sistemas agroalimentares, sendo frequentemente submetidas a tratamentos químicos ou biológicos com o objetivo de garantir altos índices de germinação, vigor e sanidade, reduzindo perdas causadas por pragas e doenças (Lamichhane et al., 2022). Esses tratamentos são considerados fundamentais para o adequado estabelecimento das plântulas e para o bom desempenho inicial das culturas (Ma,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

2019). No entanto, a aplicação recorrente de agroquímicos pode estar associada a impactos ambientais e a potenciais riscos à saúde humana e animal, especialmente diante da crescente demanda por alternativas mais sustentáveis (Shelar et al., 2023).

A busca por práticas que não comprometam o equilíbrio do meio ambiente e que sejam seguras para a sociedade é essencial para o alcance de uma agricultura mais sustentável e com menor impacto ambiental (Nascimento et al., 2020). Dentre as medidas utilizadas na produção de sementes, a microbiolização destaca-se como uma alternativa promissora para a substituição de agroquímicos no tratamento de sementes. Segundo Junges et al. (2014), a microbiolização consiste na aplicação de microrganismos às sementes, os quais podem atuar no controle de patógenos associados, bem como promover o crescimento e o desenvolvimento de plântulas. Nesse contexto, a microbiolização de sementes com agentes promotores do crescimento vegetal tem apresentado potencial para favorecer parâmetros agronômicos, conforme evidenciado por Mota et al. (2017). Além disso, essa prática pode contribuir para o manejo integrado de doenças fitopatogênicas em razão do papel multifuncional desempenhado por diferentes microrganismos benéficos. Esses organismos são capazes de produzir metabólitos secundários, como antibióticos e enzimas líticas, que atuam diretamente no controle de fitopatógenos. Além disso sintetizam vitaminas, fito-hormônios e ácido indolacético (AIA), e realizam processos essenciais como a fixação biológica de nitrogênio e a solubilização de fosfatos, aumentando a disponibilidade desses nutrientes para as plantas (Breedt et al., 2017; Cruz et al., 2020; Chen et al., 2020; López et al., 2022). Dessa forma, a microbiolização tem sido considerada uma abordagem promissora para a sustentabilidade agrícola por integrar potenciais benefícios nutricionais e fitossanitários.

Diante do crescente interesse por práticas agrícolas que conciliem produtividade e sustentabilidade, torna-se essencial a consolidação do conhecimento científico sobre métodos alternativos ao tratamento químico de sementes. A presente revisão, ao reunir evidências sobre os benefícios e limitações da microbiolização, oferece subsídios técnicos e conceituais para

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

pesquisadores, profissionais e produtores na área de tecnologia de sementes. Ademais, este trabalho poderá contribuir como base teórica para o desenvolvimento de novas investigações, experimentações em diferentes culturas e para o aprimoramento de bioinoculantes, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre agricultura sustentável e qualidade fisiológica de sementes.

Considerando a crescente adoção da microbiolização de sementes como alternativa ao tratamento químico convencional, esta revisão teve como objetivo analisar criticamente as evidências científicas disponíveis sobre os principais microrganismos utilizados na microbiolização de sementes, seus mecanismos de ação, métodos de aplicação e efeitos sobre a germinação, o vigor, a sanidade das sementes e a sustentabilidade agrícola, bem como discutir as limitações e perspectivas para sua aplicação em escala comercial.

2. Metodologia

Esta revisão narrativa foi conduzida com o objetivo de reunir, sintetizar e analisar criticamente o conhecimento científico disponível sobre a microbiolização de sementes com microrganismos promotores do crescimento vegetal, com ênfase em seus mecanismos de ação, métodos de aplicação, efeitos sobre a qualidade fisiológica das sementes, controle biológico de fitopatógenos e perspectivas para sua utilização na agricultura sustentável.

O levantamento bibliográfico foi realizado por meio de consultas às bases de dados **Scopus**, **Web of Science**, **PubMed** e **Google Scholar**, por serem amplamente utilizadas na indexação de estudos nas áreas de tecnologia de sementes, microbiologia agrícola e ciências agrárias. Foram considerados artigos científicos publicados **preferencialmente entre 2015 e 2025**, priorizando estudos revisados por pares e de reconhecida relevância científica. Trabalhos clássicos publicados antes desse período também foram incluídos quando considerados essenciais para a contextualização histórica, conceitual ou metodológica do tema.

A estratégia de busca foi baseada em combinações de descritores em português e

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

inglês relacionados à microbiolização de sementes, incluindo os termos *seed microbiolization*, *microbial seed treatment*, *seed biopriming*, *seed inoculation*, *plant growth-promoting microorganisms*, *plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)*, *Bacillus*, *Trichoderma*, *Azospirillum*, *biological control*, *seed physiological quality*, *germination* e *seed vigor*. Os descritores foram combinados utilizando os operadores booleanos **AND**, **OR** e, quando necessário, **NOT**, de acordo com as especificidades de cada base de dados, a fim de ampliar a abrangência e a precisão da busca.

Foram incluídos estudos publicados em **português, inglês e espanhol** que abordassem diretamente a microbiolização de sementes, seus mecanismos de ação, métodos de aplicação, efeitos sobre a germinação, o vigor, o desenvolvimento inicial de plântulas, o controle biológico de fitopatógenos e a promoção do crescimento vegetal. Foram excluídos trabalhos que tratavam exclusivamente de outras formas de inoculação microbiana não relacionadas ao tratamento de sementes, estudos duplicados entre as bases consultadas, documentos sem acesso ao texto completo e publicações que não apresentavam relação direta com os objetivos desta revisão.

A seleção dos estudos foi realizada em duas etapas. Inicialmente, procedeu-se à leitura dos títulos e resumos para avaliação da pertinência em relação ao tema proposto. Em seguida, os trabalhos potencialmente elegíveis foram analisados na íntegra, considerando sua contribuição científica para os objetivos da revisão.

Para cada estudo selecionado foram extraídas informações referentes à espécie vegetal avaliada, aos microrganismos utilizados, aos métodos de microbiolização, às condições experimentais, às variáveis analisadas e aos principais resultados relacionados à qualidade fisiológica das sementes, à promoção do crescimento vegetal e ao controle de fitopatógenos. Posteriormente, os estudos foram organizados em categorias temáticas que estruturaram o desenvolvimento desta revisão, compreendendo: (i) o papel dos microrganismos na agricultura; (ii) os principais microrganismos utilizados na microbiolização de sementes; (iii) os métodos de desinfestação e aplicação; (iv) os efeitos sobre a qualidade fisiológica das sementes; (v) o controle biológico de fitopatógenos; e (vi) as limitações e

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

perspectivas da microbiolização de sementes.

Por fim, foi realizada uma análise crítica e comparativa da literatura, buscando identificar convergências, divergências, limitações metodológicas, lacunas do conhecimento e tendências de pesquisa. A interpretação dos resultados considerou as diferenças entre espécies vegetais, microrganismos empregados, métodos de microbiolização e condições experimentais descritas nos estudos, permitindo uma discussão mais abrangente sobre o potencial e as limitações dessa tecnologia para a produção agrícola sustentável.

Os microrganismos desempenham papel fundamental na estruturação e manutenção de sistemas agrícolas sustentáveis, devido à sua elevada diversidade funcional e à capacidade de estabelecer interações com as plantas e o solo. Nos ecossistemas rizosféricos, essas interações influenciam processos biológicos essenciais, como a ciclagem de nutrientes, a dinâmica da matéria orgânica e a disponibilidade de elementos minerais, contribuindo para a manutenção da fertilidade do solo e para o desempenho das culturas (Nadarajah e Rahman, 2023). As associações entre plantas e microrganismos são diversas e complexas, podendo resultar em benefícios mútuos relacionados à nutrição mineral, ao crescimento vegetal e à tolerância a estresses bióticos e abióticos (Suman et al., 2022).

Entre os principais mecanismos associados aos microrganismos promotores do crescimento vegetal destaca-se a fixação biológica de nitrogênio, processo capaz de disponibilizar nitrogênio assimilável às plantas e, consequentemente, reduzir parcial ou totalmente a dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos, dependendo da eficiência da associação planta-microrganismo e das condições de cultivo (Stepien et al., 2022). Outro mecanismo amplamente relatado é a solubilização de fosfato, que aumenta a disponibilidade desse nutriente em solos onde sua baixa solubilidade limita o crescimento vegetal, especialmente em regiões tropicais (Bader et al., 2020).

Além da melhoria da nutrição mineral, diversos microrganismos produzem reguladores de crescimento, principalmente auxinas, como o ácido indol-3-acético

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

(AIA), além de outras substâncias bioativas capazes de modular o desenvolvimento vegetal, promovendo o alongamento celular, a formação de raízes laterais e o aumento da área de absorção radicular (Yusfi et al., 2021; Dixit et al., 2022). Entretanto, a magnitude desses efeitos varia conforme a espécie microbiana, a planta hospedeira, a concentração dos metabólitos produzidos e as condições ambientais, não sendo observada de forma uniforme entre diferentes sistemas de cultivo.

Outro mecanismo frequentemente associado aos microrganismos benéficos é a produção de sideróforos, compostos com elevada afinidade pelo ferro que favorecem sua absorção pelas plantas e, simultaneamente, reduzem sua disponibilidade para diversos fitopatógenos, constituindo um importante mecanismo indireto de controle biológico (Ghazy e El-Nahrawy, 2021). Da mesma forma, determinadas espécies produzem enzimas hidrolíticas, compostos antimicrobianos, metabólitos secundários e compostos orgânicos voláteis capazes de inibir o crescimento de fungos e bactérias fitopatogênicas, embora a ocorrência e a intensidade desses mecanismos dependam da espécie microbiana e das interações estabelecidas no ambiente rizosférico (Cruz et al., 2022).

Entre os mecanismos fisiológicos mais estudados destaca-se também a produção da enzima ACC desaminase por determinados grupos de bactérias promotoras do crescimento vegetal. Essa enzima reduz os níveis do precursor do etileno nas plantas, contribuindo para minimizar os efeitos negativos desse hormônio sob condições de estresse e favorecendo o crescimento vegetal em ambientes adversos (Naing et al., 2021). Contudo, essa característica não está presente em todos os microrganismos promotores do crescimento, sendo sua eficiência dependente da capacidade de colonização da planta hospedeira e das condições ambientais durante o cultivo.

Embora esses mecanismos sejam amplamente descritos na literatura, sua contribuição para o desempenho das culturas varia consideravelmente em função da espécie vegetal, do genótipo da planta, da cepa microbiana utilizada, das características físico-químicas do solo, da microbiota nativa e das condições edafoclimáticas. Dessa forma, benefícios observados em condições controladas de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

laboratório ou casa de vegetação nem sempre são reproduzidos em experimentos de campo, evidenciando que o sucesso da microbiolização depende da compatibilidade entre o microrganismo, a planta hospedeira e o ambiente de cultivo.

Além disso, a persistência dos microrganismos inoculados nas sementes e na rizosfera representa um dos principais desafios para a obtenção de respostas consistentes em condições comerciais. Fatores como formulação do inoculante, sobrevivência durante o armazenamento das sementes, competição com a microbiota nativa e influência das condições ambientais podem comprometer a colonização e reduzir a eficiência da microbiolização, justificando as diferenças frequentemente observadas entre estudos conduzidos em diferentes culturas e regiões agrícolas.

Nesse contexto, a compreensão aprofundada das funções desempenhadas pelos microrganismos e das interações estabelecidas entre planta, solo e microbiota torna-se fundamental para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes de microbiolização de sementes. Assim, a integração do conhecimento microbiológico às práticas agrícolas representa uma abordagem promissora para reduzir a dependência de insumos químicos e aumentar a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Entretanto, sua adoção em larga escala depende da seleção de microrganismos altamente eficientes, do desenvolvimento de formulações estáveis e da validação dos resultados em diferentes condições de cultivo, aspectos que ainda constituem importantes desafios para a pesquisa e a aplicação comercial dessa tecnologia.

A microbiolização de sementes tem sido amplamente empregada utilizando microrganismos promotores do crescimento vegetal (Plant Growth-Promoting Microorganisms – PGPM), devido à sua capacidade de colonizar a superfície das sementes e a rizosfera, estabelecendo interações benéficas com a planta desde os estágios iniciais do desenvolvimento. Esses microrganismos podem atuar por mecanismos diretos, como a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de nutrientes e a produção de fitormônios, ou por mecanismos indiretos, relacionados principalmente ao controle biológico de fitopatógenos e à indução de resistência

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

nas plantas (Cruz et al., 2022). Entretanto, a eficiência desses processos depende da compatibilidade entre o microrganismo, a espécie vegetal e as condições ambientais, não sendo observada de forma uniforme entre diferentes culturas e sistemas de produção.

Entre os gêneros mais utilizados na microbiolização destacam-se Azospirillum, Bacillus, Trichoderma, Serratia, Bradyrhizobium e Paenibacillus (Rezende et al., 2021; Dalzotto et al., 2020; Pereira et al., 2021; Marins, 2021). Embora todos apresentem potencial para promover o crescimento vegetal, esses microrganismos diferem quanto aos mecanismos predominantes de ação. Espécies de Azospirillum e Bradyrhizobium destacam-se principalmente pela fixação biológica de nitrogênio e pela produção de fitormônios, enquanto representantes do gênero Bacillus apresentam elevada capacidade de formação de endósporos, característica que favorece sua sobrevivência durante o armazenamento das sementes e aumenta sua estabilidade em formulações comerciais. Além disso, espécies de Bacillus produzem diversos metabólitos antimicrobianos, enzimas hidrolíticas e sideróforos, conferindo-lhes importante potencial para o controle biológico de doenças.

Fungos do gênero Trichoderma também ocupam posição de destaque entre os agentes utilizados na microbiolização de sementes, devido à sua elevada capacidade de colonização da rizosfera, competição por espaço e nutrientes, produção de metabólitos antifúngicos e indução de mecanismos de defesa nas plantas. Por sua vez, espécies pertencentes aos gêneros Serratia e Paenibacillus têm demonstrado potencial para promover o crescimento vegetal por meio da produção de enzimas, sideróforos, compostos promotores do crescimento e da solubilização de fósforo, ampliando as possibilidades de utilização desses microrganismos em diferentes culturas agrícolas.

Nos últimos anos, a coinoculação de microrganismos tem recebido crescente atenção como estratégia para potencializar os efeitos da microbiolização, combinando mecanismos complementares de promoção do crescimento vegetal e de controle biológico (Silva et al., 2020). Pereira et al. (2021), por exemplo, verificaram que a coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium*

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

japonicum em sementes de milho promoveu incremento na produção de matéria seca, no desenvolvimento do sistema radicular e nos teores de clorofila. De forma semelhante, Silva et al. (2020) observaram que os isolados BRM 32114 (*Serratia* sp.) e BRM 63573 (*Bacillus* sp.), aplicados individualmente ou em coinoculação em sementes de soja, favoreceram o crescimento das plântulas, refletindo em aumentos no comprimento, volume e biomassa radicular, bem como na biomassa da parte aérea e na massa seca total.

Apesar desses resultados promissores, a superioridade da coinoculação em relação à inoculação individual não pode ser generalizada. A interação entre diferentes microrganismos pode resultar em respostas sinérgicas, aditivas, neutras ou até mesmo antagonísticas, dependendo da compatibilidade fisiológica entre as cepas, da capacidade de colonização das sementes, da competição por nichos ecológicos e das condições ambientais durante o estabelecimento da cultura. Dessa forma, a seleção criteriosa das combinações microbianas representa um fator determinante para o sucesso dessa estratégia.

Em conjunto, os estudos demonstram que não existe um microrganismo universalmente superior para todas as culturas e condições de cultivo. A escolha das espécies microbianas deve considerar seus mecanismos predominantes de ação, a compatibilidade com a planta hospedeira, as características do solo e os objetivos do tratamento, como promoção do crescimento, aumento da qualidade fisiológica das sementes, controle de fitopatógenos ou mitigação de estresses ambientais. Essa variabilidade explica parte das diferenças observadas entre os estudos e reforça a necessidade de validação das tecnologias de microbiolização em diferentes espécies vegetais e condições de campo antes de sua ampla recomendação comercial.

3.3 Métodos de desinfestação e aplicação

A eficiência da microbiolização de sementes depende não apenas da seleção de microrganismos com potencial para promover o crescimento vegetal e o controle biológico de fitopatógenos, mas também da adoção de protocolos adequados de desinfestação e aplicação, que favoreçam a colonização da superfície das sementes sem comprometer sua qualidade fisiológica nem a viabilidade dos

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

microrganismos inoculados (Ma, 2019). Nesse contexto, a desinfestação superficial representa uma etapa importante, pois reduz a interferência da microbiota naturalmente presente nas sementes e aumenta a eficiência do estabelecimento dos microrganismos benéficos.

Embora não exista um protocolo universal de desinfestação, a combinação de álcool 70% seguida de hipoclorito de sódio constitui um dos procedimentos mais frequentemente empregados na literatura. Madureira et al. (2022), por exemplo, desinfestaram sementes de tomate utilizando álcool 70% por 1 minuto, seguido de hipoclorito de sódio a 5% por mais 1 minuto, realizando posteriormente três lavagens com água destilada esterilizada e secagem em câmara de fluxo laminar. De forma semelhante, Junges et al. (2019) utilizaram protocolo equivalente para sementes de aveia-preta microbiolizadas com *Trichoderma* spp., diferenciando-se apenas pela ausência da etapa de secagem em fluxo laminar. Essas variações demonstram que o tempo de exposição aos desinfestantes, as concentrações empregadas e os procedimentos de secagem podem ser ajustados conforme a espécie vegetal, as características do tegumento das sementes e o microrganismo utilizado.

Após a desinfestação, a aplicação dos microrganismos constitui outra etapa determinante para o sucesso da microbiolização. Entre os métodos descritos na literatura, a imersão das sementes em suspensões microbianas permanece como a técnica mais utilizada em estudos experimentais, devido à sua simplicidade operacional e ao contato uniforme entre o inóculo e a superfície das sementes. Entretanto, outras estratégias, como revestimento (*seed coating*), peletização e aplicação de formulações líquidas ou poliméricas, também têm sido investigadas com o objetivo de aumentar a aderência, proteger os microrganismos durante o armazenamento e favorecer sua sobrevivência após a semeadura.

As concentrações do inóculo e o tempo de exposição das sementes variam consideravelmente entre os estudos. Silva et al. (2020), ao microbiolizarem sementes de soja, utilizaram suspensão bacteriana ajustada em espectrofotômetro a A₅₄₀ = 0,5, correspondente à concentração de **10^8 UFC mL^{-1}** (unidades formadoras de colônia), mantendo as sementes imersas por quatro horas sob agitação constante a 25 °C. De maneira semelhante, Duarah et al. (2011) empregaram suspensão bacteriana contendo **$1,2 \times 10^7$ UFC mL^{-1}** para microbiolização de sementes de arroz, também utilizando quatro horas de imersão sob agitação, seguidas de secagem em câmara de fluxo laminar. Apesar da semelhança entre os protocolos, observa-se que as concentrações microbianas utilizadas variam entre os estudos, refletindo diferenças relacionadas às espécies microbianas, às culturas agrícolas, aos objetivos experimentais e às formulações empregadas.

A etapa de secagem após a inoculação também exerce influência sobre a eficiência da microbiolização, pois contribui para reduzir o excesso de umidade na superfície das sementes, favorecer a aderência dos microrganismos e facilitar o manuseio e o armazenamento do material tratado. Entretanto, a necessidade dessa etapa depende do método de aplicação, do tipo de formulação utilizada e

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

das características fisiológicas das sementes, razão pela qual diferentes protocolos são encontrados na literatura.

De modo geral, verifica-se que ainda não existe padronização quanto aos métodos de desinfestação e aplicação utilizados na microbiolização de sementes. As diferenças observadas entre os estudos quanto às concentrações do inóculo, ao tempo de exposição, aos procedimentos de secagem e às técnicas de aplicação evidenciam que a eficiência da microbiolização depende da interação entre o microrganismo, a espécie vegetal e as condições experimentais. Dessa forma, o desenvolvimento de protocolos mais padronizados e reprodutíveis constitui um dos principais desafios para ampliar a aplicação dessa tecnologia em escala comercial e aumentar a consistência dos resultados obtidos em diferentes culturas e ambientes.

3.4 Efeitos da microbiolização na qualidade fisiológica de sementes

A microbiolização de sementes tem demonstrado potencial para melhorar diferentes atributos relacionados à qualidade fisiológica, incluindo germinação, vigor, velocidade de emergência, desenvolvimento inicial de plântulas e tolerância a estresses bióticos e abióticos. Entretanto, a magnitude dessas respostas varia em função da espécie vegetal, do microrganismo empregado, da interação entre ambos e das condições ambientais, evidenciando que os benefícios da microbiolização não são uniformes entre diferentes sistemas de produção.

Os efeitos positivos observados na germinação estão associados, principalmente, à capacidade de determinados microrganismos produzirem enzimas hidrolíticas que aceleram a mobilização das reservas presentes nas sementes. Madureira et al. (2022), ao microbiolizarem sementes de tomate, verificaram que os isolados utilizados produziram lipases, enzimas envolvidas na degradação de lipídios armazenados, disponibilizando compostos energéticos para o metabolismo germinativo. Além das lipases, outras enzimas hidrolíticas, como amilases e proteases, também desempenham papel importante na degradação de amido e proteínas durante a germinação (Coelho et al., 2013). Corroborando esses resultados, Duarah et al. (2011) observaram que bactérias solubilizadoras de fósforo aumentaram a atividade da amilase em sementes de arroz e leguminosas,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

favorecendo a mobilização das reservas e contribuindo para a germinação e o crescimento inicial das plântulas.

Além da ativação do metabolismo germinativo, diversos estudos relatam que a microbiolização pode melhorar o vigor das sementes e o desenvolvimento inicial das plantas. Em sementes de amendoim, Carvalho-Neto et al. (2025) demonstraram que produtos biológicos comerciais reduziram significativamente a incidência de patógenos transmitidos pelas sementes e promoveram incrementos nos índices de velocidade de germinação e emergência, no desenvolvimento do sistema radicular e no acúmulo de massa seca das plântulas. Esses resultados indicam que a melhoria da qualidade fisiológica frequentemente ocorre de forma integrada, combinando o controle biológico de fitopatógenos com a promoção do crescimento vegetal, em vez de resultar de um único mecanismo de ação.

Outro aspecto amplamente investigado refere-se ao potencial da microbiolização para aumentar a tolerância das sementes e plântulas aos estresses ambientais, especialmente ao déficit hídrico. Entre os mecanismos envolvidos, destaca-se a produção da enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) desaminase por determinados microrganismos. Essa enzima reduz a disponibilidade do precursor do etileno, contribuindo para atenuar o acúmulo desse fitormônio sob condições de estresse e minimizando seus efeitos negativos sobre a germinação e o crescimento inicial das plantas. Santos et al. (2025) relataram que plantas submetidas ao estresse hídrico apresentam aumento na síntese de etileno, comprometendo diversos processos fisiológicos. Nesse contexto, a microbiolização de sementes de tomate (cv. Kada) com o isolado *Bacillus pumilus* RZ-1 manteve elevadas taxas de germinação sob potenciais hídricos de até −0,4 MPa, superando os tratamentos não inoculados e demonstrando o potencial desse microrganismo para mitigar os efeitos do déficit hídrico durante a fase inicial de desenvolvimento.

Embora os mecanismos envolvidos sejam distintos, os estudos analisados convergem ao demonstrar que a microbiolização pode favorecer a qualidade fisiológica das sementes por diferentes vias, incluindo a produção de enzimas hidrolíticas, a disponibilização de nutrientes, a síntese de reguladores de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

crescimento, a redução da incidência de fitopatógenos e a modulação das respostas fisiológicas ao estresse. Dessa forma, diferentes grupos de microrganismos podem produzir respostas semelhantes sobre a germinação e o vigor, ainda que atuem por mecanismos fisiológicos distintos.

Apesar dos resultados promissores, a eficiência da microbiolização varia consideravelmente entre espécies vegetais, microrganismos, formulações, condições ambientais e intensidade dos estresses avaliados. Grande parte das evidências disponíveis também foi obtida em condições controladas de laboratório ou casa de vegetação, nas quais fatores ambientais são minimizados. Consequentemente, a extrapolação desses resultados para condições de campo deve ser realizada com cautela, sendo necessários estudos que validem a estabilidade e a consistência dos efeitos observados em diferentes sistemas de produção. A padronização dos protocolos de microbiolização e a compreensão das interações entre microrganismos, sementes e ambiente representam, portanto, etapas fundamentais para ampliar a aplicação dessa tecnologia na agricultura.

3.5 Controle de patógenos por meio da microbiolização

Os patógenos associados às sementes representam uma das principais causas de redução da qualidade fisiológica e sanitária, atuando como importantes fontes de disseminação de doenças entre áreas de cultivo e comprometendo o estabelecimento inicial das plantas. Fungos, bactérias e outros microrganismos fitopatogênicos podem causar deterioração das sementes, reduzir a germinação, provocar tombamento de plântulas, afetar o desenvolvimento do sistema radicular e vascular e, consequentemente, comprometer o crescimento e a produtividade das culturas (Bashyal et al., 2020; Silva e Araújo, 2025). Nesse contexto, a microbiolização de sementes tem sido amplamente investigada como alternativa ao tratamento químico convencional, buscando reduzir a incidência de patógenos e promover um estabelecimento mais saudável das lavouras.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

O controle biológico promovido por microrganismos ocorre por diferentes mecanismos, frequentemente atuando de forma simultânea. Entre os principais destacam-se a produção de metabólitos antimicrobianos, enzimas hidrolíticas capazes de degradar a parede celular de fungos fitopatogênicos, sideróforos que reduzem a disponibilidade de ferro para os patógenos, competição por espaço e nutrientes na superfície das sementes e na rizosfera, além da indução de resistência sistêmica nas plantas (Ghazy e El-Nahrawy, 2021; Samaras et al., 2021). Além desses mecanismos, alguns microrganismos produzem fitormônios, como o ácido indolacético (AIA), que contribuem principalmente para a promoção do crescimento vegetal, fortalecendo indiretamente a capacidade das plantas de tolerar infecções (Yusfi et al., 2021).

Entre os microrganismos utilizados na microbiolização, espécies do gênero *Trichoderma* destacam-se pela elevada capacidade de antagonismo contra fungos fitopatogênicos. Montalvão et al. (2023) verificaram que a microbiolização de sementes de tomate utilizando os isolados *Trichoderma* CEN281 e CEN1070 promoveu controle significativo do tombamento de mudas causado por *Sclerotium rolfsii*. Resultados semelhantes foram observados por Cruz et al. (2022), que demonstraram a eficiência de *T. asperellum* e *T. harzianum* na redução da incidência de fungos patogênicos, apresentando desempenho comparável ao obtido com produtos químicos sintéticos em determinadas condições experimentais.

Além dos fungos antagonistas, bactérias pertencentes ao gênero *Bacillus* também apresentam elevado potencial para o controle biológico de doenças transmitidas por sementes. Souza et al. (2023) relataram que sementes de arroz microbiolizadas com o isolado *Bacillus* sp. 475, em condições de pH 4 e pH 6, apresentaram efeito bioprotetor contra patógenos, associado ao estímulo do crescimento vegetal. Esses resultados reforçam que, além do antagonismo direto aos fitopatógenos, diversos microrganismos exercem efeitos simultâneos sobre a promoção do crescimento das plantas, tornando a microbiolização uma estratégia multifuncional.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

Embora os resultados obtidos sejam amplamente favoráveis ao uso de agentes biológicos, a eficiência do controle de patógenos depende de diversos fatores, incluindo a espécie do patógeno, o microrganismo utilizado, a compatibilidade entre ambos, a cultura agrícola, as condições ambientais e a capacidade de colonização das sementes e da rizosfera. Dessa forma, a superioridade dos tratamentos biológicos em relação aos produtos químicos não deve ser generalizada, uma vez que seu desempenho pode variar entre diferentes sistemas de produção e condições de campo.

De modo geral, as evidências disponíveis indicam que a microbiolização representa uma estratégia promissora para o manejo integrado de doenças transmitidas por sementes, reduzindo a dependência de fungicidas sintéticos e contribuindo para sistemas agrícolas mais sustentáveis. Entretanto, a consolidação dessa tecnologia em escala comercial ainda depende da seleção de microrganismos altamente eficientes, do desenvolvimento de formulações estáveis e da validação dos resultados em diferentes culturas e condições ambientais.

3.6 Limitações e desafios da microbiolização em sementes

Apesar dos avanços obtidos nas últimas décadas, a microbiolização de sementes ainda enfrenta importantes desafios científicos, tecnológicos e operacionais que limitam sua adoção em larga escala. Grande parte dos resultados disponíveis foi obtida em condições controladas de laboratório ou casa de vegetação, nas quais fatores ambientais são reduzidos. Entretanto, em condições de campo, a eficiência dos microrganismos pode ser influenciada por diversos fatores, como temperatura, umidade, características físico-químicas do solo, microbiota nativa, manejo agrícola e interação com diferentes genótipos vegetais. Dessa forma, a validação dos resultados em diferentes ambientes de cultivo constitui uma etapa fundamental para ampliar a confiabilidade dessa tecnologia.

Outro desafio importante refere-se à elevada variabilidade existente entre cepas pertencentes à mesma espécie microbiana. Isolados geneticamente relacionados

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

podem apresentar diferenças significativas quanto à capacidade de colonização das sementes, sobrevivência durante o armazenamento, produção de metabólitos bioativos e eficiência na promoção do crescimento vegetal ou no controle biológico de fitopatógenos. Assim, a seleção criteriosa de microrganismos adaptados às condições edafoclimáticas e às culturas de interesse representa um dos principais fatores para o sucesso da microbiolização.

A formulação e o armazenamento de sementes microbiolizadas também constituem limitações relevantes para a utilização comercial dessa tecnologia. A manutenção da viabilidade dos microrganismos durante o armazenamento depende de fatores como temperatura, umidade, tipo de formulação, veículo utilizado, compatibilidade com revestimentos e tempo de estocagem. A redução da população microbiana ao longo do armazenamento pode comprometer a eficiência da microbiolização, tornando necessário o desenvolvimento de formulações mais estáveis e de tecnologias capazes de prolongar a sobrevivência dos microrganismos nas sementes.

Outro aspecto que merece atenção é a interação entre os microrganismos inoculados e a microbiota naturalmente presente nas sementes e no solo. Em alguns casos, microrganismos nativos podem competir por espaço e nutrientes, reduzindo a capacidade de colonização dos inoculantes e limitando seus efeitos sobre o crescimento vegetal e o controle de doenças. Essa complexidade ecológica explica, em parte, a variabilidade dos resultados observados entre diferentes estudos e sistemas de produção.

Nessa mesma perspectiva, a compatibilidade entre agentes biológicos e produtos químicos utilizados no tratamento de sementes ainda representa um importante desafio para a adoção da microbiolização. O uso indiscriminado de fungicidas, inseticidas e outros defensivos pode reduzir a sobrevivência dos microrganismos benéficos ou comprometer seu estabelecimento na rizosfera. Por outro lado, quando há compatibilidade entre os insumos, a associação entre produtos químicos e microrganismos pode manter a proteção fitossanitária das sementes e, simultaneamente, agregar efeitos promotores do crescimento vegetal (Madureira et

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

al., 2022). Dessa forma, estudos de compatibilidade entre inoculantes e defensivos agrícolas são essenciais para o desenvolvimento de protocolos integrados de tratamento de sementes.

De modo geral, a microbiolização representa uma tecnologia promissora para o manejo integrado da qualidade fisiológica e sanitária das sementes. Entretanto, sua ampla adoção depende da superação de desafios relacionados à seleção de microrganismos eficientes, ao desenvolvimento de formulações comerciais estáveis, à padronização dos protocolos de aplicação e armazenamento e à validação dos resultados em diferentes condições de campo. Somente após o enfrentamento dessas limitações será possível ampliar o uso dessa tecnologia e explorar de forma mais consistente seu potencial para complementar as estratégias convencionais de manejo agrícola, contribuindo para sistemas de produção mais sustentáveis.

4. Considerações finais

A literatura analisada demonstra que a microbiolização de sementes constitui uma estratégia promissora para melhorar a qualidade fisiológica e sanitária das sementes, apresentando potencial para favorecer a germinação, o vigor, o desenvolvimento inicial das plântulas e o controle de patógenos. Esses benefícios estão associados à atuação de diferentes grupos de microrganismos capazes de promover a produção de enzimas hidrolíticas, disponibilizar nutrientes, sintetizar reguladores de crescimento, modular respostas fisiológicas ao estresse e exercer atividade antagonista contra fitopatógenos. Entretanto, as evidências disponíveis indicam que esses efeitos variam conforme a espécie vegetal, o microrganismo utilizado, a formulação empregada e as condições ambientais, evidenciando que não existe um protocolo ou inoculante universalmente eficiente para todas as culturas.

A análise dos estudos também evidencia que a microbiolização apresenta potencial para integrar estratégias de manejo mais sustentáveis, podendo complementar o

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

tratamento convencional de sementes e, em determinadas situações, contribuir para reduzir a dependência de produtos químicos. Contudo, essa contribuição depende da eficiência dos microrganismos selecionados, da compatibilidade com outras práticas de manejo e da validação dos resultados em condições reais de cultivo. Dessa forma, a microbiolização deve ser compreendida como uma tecnologia complementar dentro do manejo integrado da qualidade fisiológica e sanitária das sementes, e não como uma solução isolada para os desafios da produção agrícola.

Apesar dos avanços observados, permanecem importantes lacunas relacionadas à padronização dos protocolos de microbiolização, à seleção de cepas mais eficientes e adaptadas às diferentes culturas, ao desenvolvimento de formulações que garantam maior estabilidade durante o armazenamento e à compreensão das interações entre os microrganismos inoculados, a microbiota nativa, o ambiente e os produtos químicos utilizados no tratamento de sementes. Além disso, ainda são relativamente escassos os estudos conduzidos em condições de campo e em diferentes sistemas de produção, limitando a extrapolação dos resultados obtidos em ambiente controlado.

Diante desse cenário, futuras pesquisas devem priorizar a avaliação da eficiência da microbiolização em diferentes condições edafoclimáticas, o desenvolvimento de formulações comerciais mais estáveis, a compatibilidade entre bioinoculantes e defensivos agrícolas e a identificação de combinações de microrganismos capazes de promover efeitos consistentes sobre a qualidade fisiológica e sanitária das sementes. O avanço desses estudos será fundamental para consolidar a microbiolização como uma ferramenta tecnicamente confiável e ampliar sua aplicação em programas de produção de sementes e em sistemas agrícolas de base sustentável.

Referências

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

BADER, A. N.; SALERNO, G. L.; COVACEVICH, F.; COVACEVICH, F.; CONSOLO, V. F. Native *Trichoderma harzianum* strains from Argentina produce indole-3 acetic acid and phosphorus solubilization, promote growth and control wilt disease on tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Journal of King Saud University - Science**, v.32, n.1, p.867-873, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.04.002

BASHYAL, B. M.; RAWAT, K.; SHARMA, S.; GOGOI, R.; AGGARWAL, R. Major Seed-Borne Diseases in Important Cereals: Symptomatology, Aetiology and Economic Importance. **Seed-Borne Diseases of Agricultural Crops: Detection, Diagnosis & Management**, p.371-426, 2020. DOI: 10.1007/978-981-32-9046-4_16.

BREEDT, G.; LABUSCHAGNE, N.; COUTINHO, T. Seed treatment with selected plant growth-promoting rhizobacteria increases maize yield in the field. **Annals of Applied Biology**, v.171, n.2, p.229-236, 2017. https://doi.org/10.1111/aab.12366.

CARVALHO-NETO, S.; SANTOS, K. M.; ALMEIDA, R. S. A.; NOGUEIRA, J. C.; MONTEIRO, R. E. P.; SOUZA, M. C.; SILVA, L. G.; SOUZA-JUNIOR, S. L.; SILVA, A. J.; MONTEIRO, G. B. F; SILVA, E. C.; SILVA, H. F.; NASCIMENTO, L. C. Microbiolization of *Arachis hypogaea* L. seeds. **Brazilian Journal of Biology**, v.85, p.1-8, 2025. https://doi.org/10.1590/1519-6984.299765.

CHEN, K.; TIAN, Z.; HE, H.; LONG, C.; JIANG, F. *Bacillus* species as potential biocontrol agents against citrus diseases. **Biological Control**, v.151, 2020. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104419.

COELHO, A. D.; SANTOS, K. C.; DOMINGUES, R. C. C.; MENDES, A. A. Produção de concentrados de ácidos graxos por hidrólise de óleos vegetais mediada por lipase vegetal. **Quim. Nova**, v.36, n.8, p.1164-1169, 2013.

CRUZ, J. M. F. L.; MEDEIROS, E. C.; FARIAS, O. R.; SILVA, E. C.; NASCIMENTO, L. C. Microbiolization of organic cotton seeds with *Trichoderma* sp. and *Saccharomyces cerevisiae*. **Journal of Seed Science**, v.42, p.1-9, 2020. http://dx.doi.org/10.1590/ 2317-1545v42229182.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

CRUZ, J. M. F. L.; FARIAS, O. R.; MOURA, I. N. B. M.; LINNE, J. A.; SILVA, L. D. R.; NASCIMENTO, L. C. Microbiolization of cowpea seeds with commercial strains of *Trichoderma asperellum* and *T. harzianum*. **Revista Ceres**, v.69, n.5, p.613-618, 2022. DOI: 10.1590/0034-737X202269050015.

DALZOTTO, L.; TORTELLI, B.; STEFANSKI, F. S.; SACON, D.; SILVA, V. N.; MILANESI, P. M. Creole bean seeds microbiolization with doses of *Trichoderma harzianum*. **Ciência Rural**, v.50, n.5, p.1-5, 2020. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190542.

DIXIT, R.; AGRAWAL, L.; SRIVASTAVA, S.; CHAUHAN, P. S. *Paenibacillus lentimorbus* Enhanced Abiotic Stress Tolerance Through Lateral Root Formation and Phytohormone Regulation. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.41, p.2198-2209, 2022. https://doi.org/10.1007/s00344-021-10439-7.

DUARAH, I.; DEKA, M.; SAIKIA, N.; BORUAH, H. P. D. Phosphate solubilizers enhance NPK fertilizer use efficiency in rice and legume cultivation. **3 Biotech**, v.1, p.227-238, 2011. https://doi.org/10.1007/s13205-011-0028-2.

GHAZY, N.; EL-NAHRAWY, S. Siderophore production by *Bacillus subtilis* MF497446 and *Pseudomonas koreensis* MG209738 and their efficacy in controlling *Cephalosporium maydis* in maize plant. **Archives of Microbiology**, v.203, p.1195-1209, 2021. https://doi.org/10.1007/s00203-020-02113-5.

IQBAL, B.; LI, G.; ALABBOSH, K. F.; HUSSAIN, H.; KHAN, I.; TARIQ, M.; JAVED, Q.; NAEEM, M.; AHMAD, N. Advancing environmental sustainability through microbial reprogramming in growth improvement, stress alleviation, and phytoremediation. **Plant Stress**, v.10, p.1-12, 2023. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100283.

JUNGES, E.; BASTOS, B. O.; TOEBE, M.; MULLER, J.; PEDROSO, D. C.; MUNIZ, M. F. B. Restrição hídrica e peliculização na microbiolização de sementes de milho com *Trichoderma* spp. **Comunicata Scientiae**, v.5, n.1, p.18-25, 2014.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

JUNGES, E.; MUNIZ, M. F. B.; BASTOS, B. O.; ORUOSKI, P.; MICHELON, C. J. Biopriming in black oat seeds. **Científica**, v.47, n.1, p.104-113, 2019. http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2019v47n1p104-113.

LAMICHHANE, J. R.; CORRALES, D. C.; SOLTANI, E. Biological seed treatments promote crop establishment and yield: a global meta-analysis. **Agronomy for Sustainable Development**, v.5, n.45, p.1-24 ,2022. https://doi.org/10.1007/s13593-022-00761-z.

LOPÉZ, L. G. S.; MEYER, M. L.; MENDOZA, I. E. M.; FIGUEIROA, F. R. Q.; JIMÉNEZ, G. S.; MONROY, M. R. Produção de ácido indol-3-acético por *Bacillus circulans* E9 em meio de baixo custo em biorreator. **Biociências e Bioengenharia**, v.134, p. 21-28, 2022. https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2022.03.007.

MADUREIRA, L. M.; RIBEIRO, R. C. F.; DAVID, A. M. S. S.; XAVIER, A. A.; PACHECO, P. V. M.; FIGUEIREDO, J. C.; DA SILVA, C. D.; CANGUSSÚ, L. V. S. Joint application of fungicide and rhizobacteria on tomato seeds. **Comunicata Scientiae**, v.13, p.1-7, 2022. DOI:10.14295/CS.v13.3637.

MARINS, M. S. **Controle de *Fusarium verticillioides* em milho por *Paenibacillus polymyxa***. 2021. 43p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2021.

MA, Y. Seed coating with beneficial microorganisms for precision agriculture. **Biotechnology Advances**, v.37, n.7. p.1-11, 2019. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.107423.

MOTA, W. F.; OLIVEIRA, G. B.; NOBRE, S. A.; SILVA, H. R. Agronomic performance of okra under the effect of seed microbiolization with rhizobacteria. **Horticultura Brasileira**, v.35, p.410-414, 2017. http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620170315.

MONTALVÃO, S. C. L.; MARQUES, E.; MANTINS, I.; SILVA, J. P.; MELLO, S. C. M. Suppression of the phytopathogens *Sclerotinia sclerotiorum* and *Sclerotium*

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

rolfsii by *Trichoderma* spp. **Biologia**, v.78, p.2941-2952, 2023. https://doi.org/10.1007/s11756-023-01457-9.

NADARAJAH, K.; RAHMAN, N. S. N. A. The Microbial Connection to Sustainable Agriculture. **Plants**, v.12, n.12, p.1-25, 2023. https://doi.org/10.3390/plants12122307

NAING, A. H.; MAUNG, T.; KIM, C. K. The ACC deaminase-producing plant growth-promoting bacteria: Influences of bacterial strains and ACC deaminase activities in plant tolerance to abiotic stress. **Physiologia Plantarum**, v.173, n.4, p.1992-2012, 2021. DOI: 10.1111/ppl.13545

NASCIMENTO, I. O.; RODRIGUES, A. A. C.; ANDRADE, K. S. P.; CUNHA, W. L.; MORAES, F. H. R.; SOUSA, F. A. Microbiolização de sementes de arroz com *Bacillus* spp. na redução de patógenos. **Research, Society and Development**, v.9, n.10, p.1-21, 2020. http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8138

PEREIRA, G. M. A.; MENEZES, R. C.; CUNHA, M. G.; FILHO, R. C. Combination of *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium japonicum* in the promotion of initial corn growth. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.8, n.1, p.1-5, 2021. https://doi.org/10.32404/rean.v8i1.5360

REZENDE, C. C.; FRASCA, L. L. M.; SILVA, M. A.; PIRES, R. A. C.; LANNA, A. C.; FILIPPI, M. C. C.; NASCENTE, A. S. Physiological and agronomic characteristics of the common bean as affected by multifunctional microorganisms. **Semina: Ciências Agrárias**, v.42, n.2, p.599-618, 2021. DOI: 10.5433/1679-0359.2021v42n2p599

SAMARAS, A.; ROUMELIOTIS, E.; NTASIOU, P.; KARAOGLANIDIS, G. *Bacillus subtilis* MBI600 Promotes Growth of Tomato Plants and Induces Systemic Resistance Contributing to the Control of Soilborne Pathogens. **Plants**, v.10, n.6, p.1-17, 2021. https://doi.org/10.3390/plants10061113.

SANTOS, H. S. N.; RIBEIRO, R. C. F.; DAVID, A. M. S.; NETO, J. A. S.; XAVIER, A. A.; SANTOS, J. R. P. ACC deaminase-producing bacteria mitigate water deficit in

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

tomato seeds. **Journal of Seed Science**, v.47, p.1-12, 2025. https://doi.org/10.1590/2317-1545v47292543.

SHELAR, A.; NILE, S. H.; SINGH, A. V.; ROTHENSTEIN, D.; BILL, J.; XIAO, J.; CHASKAR, M.; KAI, G.; PATIL, R. Recent Advances in Nano-Enabled Seed Treatment Strategies for Sustainable Agriculture: Challenges, Risk Assessment, and Future Perspectives. **Nano-Micro Letters**, v.15, n.54, p.1-37, 2023. https://doi.org/10.1007/s40820-023-01025-5

SILVA, G. B. S.; ARAÚJO, M. P. Efeitos da microbiolização de sementes de soja com *Trichoderma harzianum* na germinação e velocidade de emergência de plântulas em comparação ao fungicida químico. **Revista Tópicos**, p.1-49, 2025. DOI: 10.5281/zenodo.15066591.

SILVA, M. A.; SILVA, G. B.; NASCENTE, A. S.; FERNANDES, J. P. T.; FILIPPI, M. C. C.; ELIAS, M. T. A.; LANNA, A. C. Screening of Beneficial Microorganisms to Improve Soybean Growth and Yield. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.63, p.1-13, 2020. http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-2020190463.

SOUZA, W. R.; OLIVEIRA, L. B.; AGUIAR, R. W. S.; FALCÃO, D. F.; MACHADO, I. E. S.; FIDELIS, R. R. Microbiolization with *Bacillus* sp. in irrigated rice seed positively impacts physiological and phytosanitary quality. **Revista de Ciencias Agrícolas**, v.40, n.3, p.1-18, 2023. https://doi.org/10.22267/rcia.20234003.221.

STEPIEN, A.; WOJTKOWIAK, K.; KOLANKOWSKA, E. Effect of Commercial Microbial Preparations Containing *Paenibacillus azotofixans*, *Bacillus megaterium* and *Bacillus subtilis* on the Yield and Photosynthesis of Winter Wheat and the Nitrogen and Phosphorus Content in the Soil. **Applied sciences**, v.12, n.24, p.1-18, 2022. https://doi.org/10.3390/app122412541.

SUMAN, J; RAKSHIT, A.; OGIREDDY, S. D.; SINGH, S.; GUPTA, C.; CHANDRAKALA, J. Microbiome as a Key Player in Sustainable Agriculture and Human Health. **Frontiers in Soil Science**, v.2, p.1-13, 2022. https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.821589.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/06/2026 - **Accepted:** 21/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/w2wgx246
Pages: 1-26

YUSFI, L. A.; TJONG, D. H.; CHANIAGO, I.; JAMSARI, J. Culture medium optimization for Indole-3-Acetic Acid production by *Serratia plymuthica* UBCF_13. **Earth and Environmental Science**, v.741, n.2, p.1-9, 2021. DOI:10.1088/1755-1315/741/1/012059.