

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

TAÍS MARRA GOMES

**IMPORTÂNCIA E UTILIZAÇÃO DE FUNGOS PROMOTORES
DE CRESCIMENTO VEGETAL (FPCV) COM DESTAQUE PARA
ESTIRPES CONSOLIDADAS**

CRISTALINA, GO

2025

TAÍS MARRA GOMES

**IMPORTÂNCIA E UTILIZAÇÃO DE FUNGOS PROMOTORES DE
CRESCIMENTO VEGETAL (FPCV) COM DESTAQUE PARA
ESTIRPES CONSOLIDADAS**

Trabalho de curso apresentado à
Banca Examinadora do Curso de
Pós-Graduação Lato Sensu em
Bioinsumos do Instituto Federal
Goiano como exigência parcial
para obtenção do título de
especialista

Orientador: Prof. Dr. Alécio
Rodrigues Nunes

CRISTALINA, GO

2025

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

M358i Marra Gomes, Tais
IMPORTÂNCIA E UTILIZAÇÃO DE FUNGOS
PROMOTORES DE CRESCIMENTO VEGETAL (FPCV)
COM DESTAQUE PARA ESTIRPES CONSOLIDADAS / Tais
Marra Gomes. Cristalina 2025.
42f. il.
Orientador: Prof. Dr. Alécio Rodrigues Nunes.
Coorientadora: Prof^a. Ma. Samia Gomes da Silva.
Tcc (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de 1030426 -
Especialização em Bioinsumos - Cristalina (Campus Cristalina).
1. Bioinsumos. 2. Inoculantes. 3. Trichoderma. 4.
Sustentabilidade. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

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

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|---|---|
| ☐ Tese (doutorado) | ☐ Artigo científico |
| ☐ Dissertação (mestrado) | ☐ Capítulo de livro |
| ☒ Monografia (especialização) | ☐ Livro |
| ☐ TCC (graduação) | ☐ Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Taís Marra Gomes

Matrícula:

2024110304260010

Título do trabalho:

IMPORTÂNCIA E UTILIZAÇÃO DE FUNGOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO VEGETAL (FPCV) COM DESTAQUE PARA ESTIRPES CONSOLIDADAS

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 11 /05 /2026

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

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

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

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

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

Documento assinado digitalmente
gov.br TAI S MARRA GOMES
Data: 11/05/2026 15:26:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Local
Data 11 /05 /2026

Assinatura do(a)

Documento assinado digitalmente
gov.br ALECIO RODRIGUES NUNES
Data: 11/05/2026 15:29:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

S

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) CEBIO/IF Goiano**ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO**

Aos dezessete dias do mês de outubro de dois mil e vinte e cinco, às 10 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Alécio Rodrigues Nunes(orientador), Prof(a) Dra. Míriam de Almeida Marques (Membro), Profº Me Jefferson Brendon Almeida dos Reis(Membro) para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “FUNGOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO VEGETAL: REVISÃO CIENTÍFICA E ANÁLISE DE PRODUTOS COMERCIAIS” de Tais Marra Gomes, estudante da *lato sensu* em Bioinsumos do Centro de Excelência em Bioinsumos (CEBIO) do IF Goiano – Campus Cristalina, sob Matrícula nº 2024110304260010. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição do candidato pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Cristalina, 16 de outubro de 2025.

(Assinado eletronicamente)

Dr. Alécio Rodrigues Nunes

Orientador

(Assinado eletronicamente)

Dra. Míriam de Almeida Marques

Membro da Banca Examinadora

(Assinado eletronicamente)

Me. Jefferson Brendon Almeida dos Reis

Membro da Banca Examinadora

Documento assinado eletronicamente por:

- **Alecio Rodrigues Nunes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 17/10/2025 10:53:33.
- **Miriam de Almeida Marques, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 17/10/2025 10:55:25.
- **Jefferson Brendon Almeida dos Reis, 064.245.135-40 - Usuário Externo**, em 17/10/2025 11:10:43.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 17/10/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 755113

Código de Autenticação: 521d48e46c



*Quanto mais o homem avança em ciência e saber, mais reconhece o quanto
ainda lhe resta aprender. O saber é uma escada sem fim, onde cada degrau revela
a imensidão dos que ainda estão por vir.
Inspirado em O Livro dos Espíritos, questões 19 e 780.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela vida, pela saúde e por me permitir seguir mesmo nos dias em que o cansaço parecia maior do que a vontade. A fé foi uma constante silenciosa em todo esse processo, renovando meu ânimo nos momentos de incerteza.

Agradeço profundamente à minha família, Marcos Gomes Vicente da Silva, Denise Guimarães Marra de Moraes, Luan Marra Gomes e Zuleica Guimarães de Freitas, que sempre esteve ao meu lado e foi meu maior apoio. Aos meus pais, Marcos e Denise, obrigada por me ensinarem, desde cedo, o valor do estudo, do trabalho honesto e da perseverança. Vocês são o meu exemplo e minha base. Obrigada por me apoiarem incondicionalmente nas minhas escolhas.

Ao meu companheiro, Matheus Henrique Araújo Lopes, obrigada por estar ao meu lado em cada etapa dessa jornada. Por escutar meus desabafos nos dias difíceis, por celebrar cada pequena conquista comigo. Sua presença foi essencial para que eu seguisse firme, e sou grata por termos compartilhado esse período. Às amigas de longa data, Marina de Azevedo Florêncio Nobre Balbino e Julia Gomes de Almeida, obrigada por nunca deixarem de acreditar em mim, mesmo nos momentos em que estive mais ausente. Saber que podia contar com vocês fora do mundo acadêmico me trouxe equilíbrio e perspectiva.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alécio Rodrigues Nunes, minha sincera gratidão pela orientação, pelas valiosas correções e pelos ensinamentos que tanto contribuíram para a realização deste trabalho. A minha coorientadora Me. Samia Gomes da Silva, que sempre se coloca à disposição para me ajudar e que tem muito a agregar com seus conhecimentos e experiências.

Aos meus professores do curso, agradeço pelos ensinamentos transmitidos com tanta sabedoria e paciência. Aos meus colegas de curso, agradeço o compartilhamento de saberes e experiências.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Bioinsumos e às instituições de apoio, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), à Fundação de Apoio à Pesquisa (FUNAPE), ao Instituto Federal Goiano (IF Goiano) e ao Centro de Excelência em Bioinsumos (CEBio) pelo apoio institucional, fomento e infraestrutura disponibilizados, os quais foram fundamentais para a execução deste trabalho.



BIOGRAFIA DO ALUNO

Taís Marra Gomes, nascida em 30 de dezembro de 1997 em Brasília-DF, é engenheira química e Mestre em Agronomia pela Universidade de Brasília (UnB). Atua na área de microbiologia do solo e bioinsumos agrícolas, com experiência em vermicompostagem e análise microbiológica aplicada à agricultura.

RESUMO

Os fungos promotores de crescimento vegetal (FPCV) representam uma alternativa sustentável para reduzir a dependência de fertilizantes químicos e mitigar estresses bióticos e abióticos na agricultura, por mecanismos como produção de fitormônios, solubilização de nutrientes, síntese de sideróforos e indução de resistência. Este trabalho revisa mecanismos e aplicações de FPCV, além de levantar dados sobre sua presença em produtos comerciais disponíveis no Brasil. A análise bibliométrica realizada na base de dados Scopus destacou os gêneros *Trichoderma* e *Penicillium*, com maior produção científica registrada na China, Índia e Brasil. No levantamento realizado no aplicativo Bioinsumos do MAPA, apesar de não terem sido encontrados registros de produtos microbiológicos promotores de crescimento para o feijão, tomate e arroz, foram encontrados 434 produtos para soja, sendo nove deles à base de fungos. Para milho, foram encontrados 87 registros de produtos, sendo 14 com a presença de fungos. Os resultados demonstram que, embora a pesquisa científica sobre FPCV esteja consolidada e em expansão, sua conversão em produtos comerciais ainda é limitada. A predominância de *Trichoderma* e fungos micorrízicos nas formulações comerciais reflete tanto sua eficácia comprovada quanto a necessidade de diversificar as espécies exploradas, ampliando o uso de bioinsumos fúngicos como estratégia para agricultura sustentável. A pesquisa sobre fungos promotores de crescimento vegetal é consolidada e está em expansão, porém ainda existe amplo espaço para transformar esse conhecimento em novos produtos capazes de fortalecer uma agricultura mais sustentável com base em bioinsumos no país.

Palavras-chave: Bioinsumos. Inoculantes, *Trichoderma*, Sustentabilidade.

ABSTRACT

Plant growth-promoting fungi (PGPF) represent a sustainable alternative to reduce dependence on chemical fertilizers and to mitigate biotic and abiotic stresses in agriculture, through mechanisms such as phytohormone production, nutrient solubilization, siderophore synthesis, and induction of resistance. This work reviews the mechanisms and applications of PGPF, in addition to gathering data on their presence in commercial products available in Brazil. The bibliometric analysis carried out in the Scopus database highlighted the genera *Trichoderma* and *Penicillium*, with the greatest scientific production recorded in China, India, and Brazil. In the survey conducted using MAPA's Bioinsumos application, although no records were found of microbiological plant growth-promoting products for beans, tomatoes, and rice, 434 products were found for soybeans, nine of them based on fungi. For maize, 87 product records were found, 14 of which contained fungi. The results show that, although scientific research on PGPF is well established and expanding, its conversion into commercial products is still limited. The predominance of *Trichoderma* and mycorrhizal fungi in commercial formulations reflects both their proven efficacy and the need to diversify the species explored, expanding the use of fungal bioinputs as a strategy for sustainable agriculture. Research on plant growth-promoting fungi is well established and expanding, but there is still ample room to transform this knowledge into new products capable of strengthening a more sustainable agriculture based on bioinputs in the country.

Keywords: Bioinputs, Inoculants, *Trichoderma*, Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estruturas químicas de fitormônios vegetais: ácido indolacético (AIA) ácido jasmônico, ácido salicílico (SA), ácido abscísico (ABA), giberelinas e etileno.	24
Figura 2: Representação esquemática da resistência sistêmica induzida (RSI) e da resistência sistêmica adquirida (RSA)	27
Figura 3: Estruturas químicas das três principais famílias de sideróforos fúngicos: coprogênios, fusarininas e ferricromos	28
Figura 4: Artigos publicados ao longo do ano de 2020 a 2025 com base na busca bibliométrica na base de dados <i>Scopus</i> utilizando os seguintes termos: ("novel" OR "newly discovered" OR "new species") AND ("plant growth-promoting fungi") AND ("agriculture" OR "crop production" OR "sustainable farming")) AND PUBYEAR > 2020” AND LIMITED TO Agricultural and Biological Sciences.	29
Figura 5: Distribuição das publicações por país com base na busca bibliométrica na base de dados <i>Scopus</i> utilizando os seguintes termos: ("novel" OR "newly discovered" OR "new species") AND ("plant growth-promoting fungi") AND ("agriculture" OR "crop production" OR "sustainable farming")) AND PUBYEAR > 2020” AND LIMITED TO Agricultural and Biological Sciences.	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fungos promotores de crescimento vegetal, País do estudo e os resultados encontrados.....	30
Tabela 2: Empresas e microrganismos presentes em inoculantes registrados para a cultura da soja no aplicativo Bioinsumos. Os dados não consideram o número de repetições.....	34
Tabela 3: Empresas e microrganismos presentes em inoculantes registrados para a cultura do milho no aplicativo Bioinsumos. Os dados não consideram o número de repetições	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABA	Ácido abscísico
AIA	Ácido indolacético
FPCV	Fungos promotores de crescimento vegetal
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária
MPCV	Microrganismos promotores de crescimento vegetal
RSA	Resistência sistêmica adquirida
RSI	Resistência sistêmica induzida
SA	Ácido salicílico

SUMÁRIO

<u>1</u>	<u>INTRODUÇÃO</u>	<u>16</u>
<u>2</u>	<u>OBJETIVOS</u>	<u>18</u>
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
<u>3</u>	<u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	<u>19</u>
<u>4</u>	<u>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	<u>21</u>
4.1	FUNGOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO VEGETAL	21
4.2	MECANISMOS DE AÇÃO	22
4.2.1	PRODUÇÃO DE FITORMÔNIOS	23
4.2.2	SOLUBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES	24
4.2.3	INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA	26
4.2.4	SIDERÓFOROS	27
<u>5</u>	<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	<u>28</u>
5.1	APLICAÇÕES COMERCIAIS NA AGRICULTURA: SCOPUS	28
5.2	APLICAÇÕES COMERCIAIS NA AGRICULTURA: BIOINSUMOS	34
<u>6</u>	<u>CONCLUSÕES</u>	<u>36</u>
<u>7</u>	<u>REFERÊNCIAS</u>	<u>37</u>

1 INTRODUÇÃO

Impulsionada pelo crescimento populacional e pelas mudanças nos padrões de consumo, a demanda global por alimentos está prevista para aumentar em 70% até o ano de 2050 (Etesami & Glick, 2020; Adedayo et al., 2023). Esse crescimento exige um aumento de rendimento de culturas por unidade de área que deve ocorrer sob condições climáticas cada vez mais desafiadoras, como secas, inundações intensas, mudanças nos padrões de temperaturas e eventos climáticos extremos (IPCC, 2023).

Atualmente, o uso intensivo de fertilizantes minerais tem sido uma estratégia amplamente adotada para maximizar a produtividade agrícola, especialmente aqueles fertilizantes ricos em nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (Szopa et al., 2022). No entanto, o aumento acentuado nos preços dos fertilizantes nos últimos anos, estimulado pelo alto custo das matérias-primas e combustíveis fósseis, torna essa abordagem economicamente insustentável (Szopa et al., 2022; Wongpiyabovorn, et al, 2024). Além disso, o uso excessivo de fertilizantes fosfatados, tem sido relacionado a impactos negativos sobre os ecossistemas, como a contaminação de aquíferos, a ocorrência aumentada de eutrofização e a desestabilização dos sistemas nativos (Castro-Barquero, 2024).

Somado a esses desafios, as perdas causadas por patógenos de plantas e pragas podem causar um grande impacto na produtividade agrícola, podendo resultar em perdas de 21% a 30% na produção devido às doenças de plantas (El-Saadony et al., 2022). Para evitar estas perdas, a estratégia mais utilizada para controlar fitopatógenos consiste na aplicação de defensivos agrícolas (Attia, M. S. et al., 2022). No entanto, a aplicação contínua de produtos químicos ao longo do tempo favorece o desenvolvimento de resistência em fungos fitopatogênicos, reduzindo a eficácia das medidas de controle (El-Maraghy et al., 2021).

Nesse cenário, os fungos promotores de crescimento vegetal (FPCV) surgem como uma alternativa sustentável. Esses microrganismos colonizam tecidos vegetais, promovem o crescimento das plantas e, adicionalmente, apresentam capacidade de atuar contra insetos e fitopatógenos (Barelli et al., 2016; Attia et al., 2022). Eles desempenham ainda papel fundamental na disponibilização de macro nutrientes, como fósforo (P), nitrogênio (N), cálcio (Ca), enxofre (S), potássio (K) e de diversos micronutrientes (Al-Taie et al., 2024). Dessa

forma, o uso de FPCV pode auxiliar na mitigação de estresses bióticos e abióticos, além de reduzir a dependência de defensivos agrícolas na agricultura (Adedayo et al., 2023).

Diante das incertezas impostas pelas mudanças climáticas e as demandas crescentes na produção e consumo de alimentos no âmbito global, os FPCV destacam-se como uma estratégia promissora para a agricultura sustentável. Esses microrganismos possuem ampla capacidade adaptativa, ocorrendo naturalmente em ecossistemas sujeitos a condições extremas, como ambientes áridos, alagados ou com elevada variação de temperatura e umidade (Rodríguez et al., 2024). Em alface, *Trichoderma asperellum* atua como promotor de crescimento, no tomate auxilia no controle de nematoides, esses microrganismos atuam de diferentes formas em diferentes sistemas (Gutiérrez-Chávez et al., 2025; Pereira et al., 2021). Ao utilizar a própria biodiversidade em substituição parcial ao uso de defensivos agrícolas, os FPCV representam uma abordagem capaz de promover o crescimento vegetal, conservar os recursos naturais e mitigar os impactos das mudanças climáticas.

Para o mercado agrícola, os produtos à base de FPCV agregam valor técnico e econômico à produção. Eles elevam o vigor inicial, o enraizamento e a eficiência de uso de nutrientes, favorecendo estandes mais uniformes, maior produtividade e estabilidade de safras sob estresses como seca, salinidade e patógenos. Como tecnologias complementares aos insumos convencionais, permitem otimizar doses de fertilizantes e defensivos, reduzindo custos por hectare. Além disso, contribuem para a saúde do solo na ciclagem de nutrientes, síntese de metabólitos benéficos e supressividade. Nesse contexto, os FPCV se consolidam como ferramentas de alto potencial para aumentar a eficiência produtiva com menor impacto ambiental.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar por meio de uma revisão de literatura sobre a importância e utilização de FPCV, com destaque para estirpes consolidadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Levantar dados dos principais gêneros e espécies de fungos promotores de crescimento vegetal utilizados em pesquisas recentes;
- 2) Verificar os mecanismos de ação, aplicações agrícolas e potencial mercadológico dos fungos promotores de crescimento vegetal
- 3) Levantar dados sobre os gêneros e espécies de fungos que são vendidos comercialmente como promotores de crescimento vegetal.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido na forma de uma revisão de literatura, cujo objetivo é reunir, sintetizar e analisar criticamente as evidências científicas disponíveis sobre a importância e utilização de fungos promotores de crescimento vegetal (FPCV), com destaque para estirpes consolidadas. Inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico exclusivamente na base de dados Scopus com foco em fungos promotores de crescimento vegetal (FPCV) no período de 2020 a 2025.

O levantamento bibliográfico na base *Scopus* para compreender a evolução desse campo de estudo, foi realizada por meio de uma análise bibliométrica aplicando a seguinte estratégia de busca avançada “TITLE-ABS-KEY(("novel" OR "newly discovered" OR "new species") AND ("plant growth-promoting fungi") AND ("agriculture" OR "crop production" OR "sustainable farming")) AND PUBYEAR > 2020” AND LIMITED TO Agricultural and Biological Sciences. Os critérios considerados para a inclusão das publicações no estudo foram: (1) abordagem direta do tema “fungos promotores de crescimento vegetal”; (2) data de realização dos estudos restrita ao período de 2020 a 2025; (3) publicação em formato de artigo científico; (4) artigos em que os microrganismos estivessem identificados a nível de gênero. Por não passarem pelo processo de revisão por pares, foram excluídas as publicações nos formatos de monografia, de trabalho de conclusão de curso (TCC), de teses, de dissertações, de vídeos, de livros e de resumos publicados em congressos (Asad et al., 2025).

Na análise bibliométrica foram encontrados 34 artigos, dentre eles foi realizado um levantamento detalhado dos fungos utilizados, cultura agrícola associada e o país de publicação. Esses dados permitiram compreender quais microrganismos são mais estudados em diferentes culturas e regiões do mundo, fornecendo uma compreensão sobre tendências de pesquisa e aplicações em campo. Esses dados são essenciais para compreender a trajetória das investigações sobre FPCVs, seus impactos na ciência agrícola e as tendências futuras desse tema.

Em uma segunda etapa do projeto, foi realizada consulta no aplicativo Bioinsumos, desenvolvido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária (MAPA) em parceria com a Embrapa, que consolida um catálogo nacional de insumos biológicos. A consulta foi efetuada em 22 de agosto de 2025, às 17h05, na versão iOS do aplicativo (Brasil, 2025). Foram incluídas as culturas de soja, milho, feijão, tomate e arroz. Para cada registro encontrado, foram consideradas as informações sobre as empresas, os inoculantes à base de fungos e o tipo de cultura (Brasil, 2024).

Visando avaliar como o conhecimento sobre bioinsumos tem sido utilizado na prática agrícola, foi feito um levantamento sistemático no aplicativo Bioinsumos, visando identificar os fungos presentes em inoculantes registrados para a cultura de soja, milho, feijão, tomate e arroz. O aplicativo é uma das ações do Plano Nacional de Bioinsumos, lançado pelo MAPA no dia 27 de maio de 2020, que tem como propósito facilitar o acesso a uma base de dados de forma fácil, rápida e gratuita a um catálogo nacional de insumos biológicos. No aplicativo Bioinsumos, os registros estão organizados em duas categorias: “Controle de pragas” e “Inoculantes”. Os FPCV aparecem na categoria de inoculantes.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 FUNGOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO VEGETAL

A atividade agrícola é fortemente influenciada por fatores climáticos, em especial pela variação sazonal, que inclui diferença de temperatura, precipitação e pela incidência de radiação solar (Ullah et al., 2021). No contexto atual em que as mudanças ambientais globais têm provocado alterações nos padrões do clima, a agricultura vem sendo afetada de forma negativa (Ortiz et al., 2021). No Brasil, eventos de secas mais intensas e por períodos mais longos nas últimas décadas têm causado reduções na produtividade agrícola. O estudo de Ferreira et al. (2024) identificou que episódios de estiagem geraram perdas médias acumuladas de 11,65% na produção de soja ao longo de cinco décadas. De forma semelhante, Nóia-Júnior et al. (2025) observaram que, em anos recentes as safras de soja no Sul do país caíram para menos de 10 milhões de toneladas em determinados estados, devido a eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e ondas de calor. Esses episódios demonstram a vulnerabilidade do setor agrícola brasileiro diante das variações climáticas e evidenciam a urgência em adotar estratégias mais sustentáveis, visto que regimes climáticos instáveis também podem estar associados a processos de lixiviação de nutrientes, perdas de produtividade.

Nesse contexto, os bioinsumos tem ganhado destaque como alternativas viáveis, muitos desses produtos são compostos por fungos e bactérias benéficas, que promovem o crescimento vegetal, aumentam a disponibilidade de nutrientes, auxiliam na proteção contra patógenos, sendo uma solução natural e estratégica para os desafios atuais (Adedayo et al., 2023, Gutiérrez-Chávez et al., 2025; Pereira et al., 2021).

No solo encontramos uma grande diversidade de grupos de microrganismos, como bactérias e fungos (El-Saadony et al., 2022). Estes estão presentes principalmente na rizosfera e diretamente ou indiretamente podem ajudar no desenvolvimento das plantas (El-Saadony et al., 2022). A rizosfera    uma região do solo adjacente às raízes das plantas onde ocorre a libera  o de diferentes compostos como carboidratos, metabólitos secundários, ácidos orgânicos e onde são encontrados grupos que desempenham diversas fun  es no crescimento da planta (Hakim et al., 2021). Os grupos presentes estão envolvidos na ciclagem de nutrientes, prote  o contra patógenos, estresse biótico (Hakim et al., 2021).

Os FPCVs possuem um papel essencial na promo  o do crescimento vegetal e na prote  o contra estresses bióticos e abióticos, alguns apresentam elevada resistência a condi  es adversas, como extremas temperaturas (Rod  r  guez et al., 2024). Eles estabelecem intera  o com

as raízes das plantas, favorecendo a absorção de nutrientes, a tolerância ao estresse e a resistência a patógenos (El-Maraghy et al., 2021). Entre os principais grupos de FPCV, destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (AMF), como *Glomus spp.*, e algumas espécies de fungos benéficos como *Trichoderma spp.*, *Piriformospora indica* e *Penicillium spp.* (El-Maraghy et al., 2021). As espécies em destaque atuam na solubilização de fósforo, produção de fitormônios e indução de resistência sistêmica nas plantas, produção de compostos voláteis (El-Maraghy et al., 2021).

Pesquisas recentes demonstraram que isolados nativos de FPCV podem desempenhar um papel crucial como biofertilizantes e agentes de biocontrole, diminuindo a necessidade de insumos sintéticos na agricultura (Asniwita et al., 2024). A utilização desses fungos na agricultura tem demonstrado efeitos sinérgicos quando combinados com outras estratégias de manejo biológico, resultando em um acréscimo da resiliência das culturas e na potencialização da produtividade agrícola (El-Maraghy et al., 2021; Trentin et al., 2024).

Nessa linha, alguns gêneros se destacam pelo papel complementar no sistema solo-planta. Entre os micorrízicos arbusculares, *Glomus spp.* ampliam a eficiência de uso de nutrientes, especialmente P, e a tolerância a estresses, potencializando o efeito de FPCV nativos citados acima (Zhou et al., 2025). *Trichoderma spp.* atuam simultaneamente como bioestimulantes e biofungicidas, por competição, antibiose, micoparasitismo e indução de defesas, com eficácia reportada contra patógenos de solo como *Fusarium*, *Rhizoctonia* e *Pythium* (Hang et al., 2017; Louzada et al., 2009). *Piriformospora indica* apresenta colonização radicular ampla, melhorando crescimento e resiliência sob seca/salinidade, enquanto *Aspergillus* e *Penicillium* se destacam pela solubilização de fosfatos (ácidos orgânicos/fosfatases) e pela degradação de resíduos celulolíticos, contribuindo para ciclagem e disponibilidade de nutrientes (Huang et al., 2023; Wu et al., 2022). Por outro lado, gêneros como *Fusarium* e *Alternaria* reúnem importantes fitopatógenos; ainda assim, isolados endofíticos específicos podem apresentar efeitos benéficos pontuais, exigindo seleção criteriosa de cepas e integração com outras práticas biológicas (El-Maraghy et al., 2021; Trentin et al., 2024; Asniwita et al., 2024).

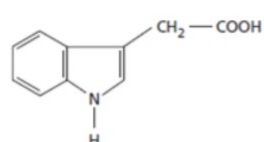
4.2 MECANISMOS DE AÇÃO

Os microrganismos promotores de crescimento vegetal (MPCVs) presentes na rizosfera em sua maioria estão associados ao sistema radicular e têm um efeito fito estimulador, seja por

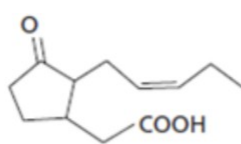
mecanismos diretos ou indiretos. Os efeitos diretos envolvem o contato direto no tecido do hospedeiro, enquanto o indireto envolve produção e liberação de substâncias que atuam no hospedeiro ou no ambiente sem a necessidade de contato físico direto, dentre os efeitos diretos, estão a disponibilidade de nutrientes no solo e a produção de fitormônios. Já como efeitos indiretos, podem ser citados metabólitos voláteis e não voláteis, antibióticos, sideróforos, resistência sistêmica induzida (RSI) (De Palma et al., 2022).

4.2.1 PRODUÇÃO DE FITORMÔNIOS

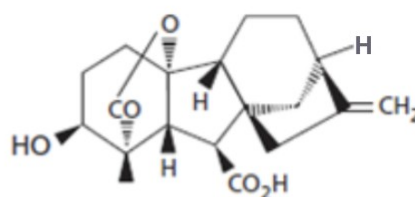
Os fitormônios são moléculas que regulam diversos processos fisiológicos das plantas, apresentam um papel importante no controle do crescimento das plantas e seus mecanismos de defesa (Adedayo *et al.*, 2023). Dentre os principais fitormônios temos a giberelina, o ácido abscísico (ABA), o ácido indolacético (AIA), o ácido salicílico (SA), o ácido jasmônico e o etileno (Adedayo *et al.*, 2023; Akbari *et al.*, 2024; Silva et al., 2008; Trentin *et al.*, 2024) (Figura 1). Embora essas substâncias sejam tradicionalmente associadas à síntese endógena das plantas, estudos recentes demonstram que diversos FPCV também são capazes de produzir fitormônios ou induzir sua produção pelas plantas hospedeiras, permitindo que os fungos atuem diretamente sobre o metabolismo vegetal (Akbari *et al.*, 2024; Trentin *et al.*, 2024).



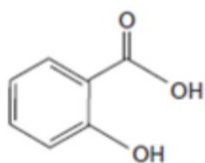
Ácido indolacético
(AIA)



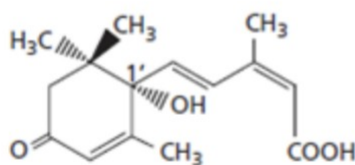
Ácido jasmônico



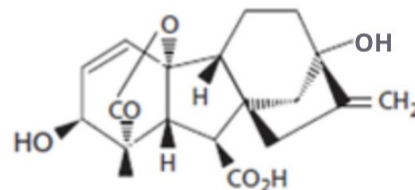
Giberelina GA₄



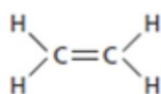
Ácido salicílico



Ácido abscísico



Giberelina GA₁



Etileno

Figura 1: Estruturas químicas de fitormônios vegetais: ácido indolacético (AIA) ácido jasmônico, ácido salicílico (SA), ácido abscísico (ABA), giberelinas e etileno.

Fonte: Adaptado de TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

A giberelina, hormônio importante no desenvolvimento de plantas, tem como principais gêneros produtores desse fitormônio o *Aspergillus* e o *Penicillium*. O AIA tem como principal gênero produtor o *Trichoderma*, esse hormônio tem a capacidade de estimular o crescimento das raízes (Trentin *et al.*, 2024). Algumas espécies do gênero *Trichoderma*, além de produzir AIA, tem papel na regulação de outros hormônios vegetais, como ácido abscísico (ABA), giberelinas e ácido jasmônico, que tem como função diminuir os danos celulares a plantas em estresse hídrico (Akbari *et al.*, 2024). Alguns outros gêneros conhecidos como produtores de AIA são *Mortierella*, *Talaromyces*, *Fusarium* (Adedayo *et al.*, 2023). Em síntese, a capacidade dos FPCV de produzir e modular fitormônios evidencia seu papel multifuncional, promovendo crescimento, auxiliando na tolerância a estresses bióticos e abióticos e contribuindo para sistemas agrícolas mais sustentáveis e resilientes.

4.2.2 SOLUBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES

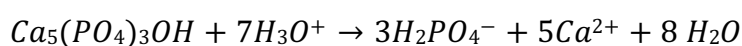
A produção agrícola demanda por suprimento adequado de nutrientes essenciais (N, P e S, entre outros). Entre eles, o P é um macronutriente essencial para o crescimento e o metabolismo das plantas, pois compõem as membranas celulares, formação de moléculas energéticas, como adenosina trifosfato (ATP) e integra a estrutura dos ácidos nucleicos (DNA e RNA) (Taiz, et al., 2017). Embora o P esteja presente em grande quantidade no solo, ele é considerado um nutriente limitante para o crescimento das plantas, pois sua assimilação ocorre predominantemente na forma de fosfato inorgânico (ortofosfatos e fósforo solúvel), que está presente em baixas concentrações para as plantas (De Palma et al., 2022). Isso ocorre porque o P aplicado via fertilizantes ou liberação da matéria orgânica se fixa a cátions metálicos do solo formando compostos de baixa solubilidade, como fosfato de cálcio, ferro e alumínio, conforme demonstrado nas equações químicas abaixo (Com seus produtos de Kps):



Dessa forma, quanto menor o K_{ps} , menor a solubilidade e maior a tendência de o P permanecer precipitado/indisponível. Assim, $FePO_4$ e $AlPO_4$ (K_{ps} muito baixos) precipitam com facilidade, típico de solos ácidos (ricos em Fe/Al), enquanto $CaHPO_4$ tende a dominar em pH neutro–alcalino. Portanto a fixação de fósforo em formas insolúveis representa um dos principais desafios à eficiência dos fertilizantes fosfatados, reforçando a importância dos microrganismos solubilizadores de fósforo na agricultura sustentável (De Palma et al., 2022; Castro-Barquero, 2024; Timofeeva et al., 2022).

Dentre os microrganismos promotores de crescimento de plantas estão documentados diversos microrganismos envolvidos na solubilização e mineralização de P a partir de formas inorgânicas e orgânicas no solo (De Palma et al., 2022). Os microrganismos podem biodisponibilizar o P do solo, sobretudo pela liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, que acidificam a rizosfera e dissolvem fosfatos minerais, quelam Ca^{2+} , Fe^{3+} e Al^{3+} liberando ortofosfato e promovem troca de ligantes nas superfícies de óxidos/hidróxidos de Fe e Al, desadsorvendo o P retido. Além disso, muitas cepas secretam fosfatases e fitases, que mineralizam o P orgânico, somando-se à solubilização química (Castro-Barquero, 2024)

Considerando o processo de mineralização, os microrganismos também atuam secretando diversas enzimas envolvidas nesse processo (Timofeeva et al., 2022). A dissolução da hidroxiapatita ($Ca_5(PO_4)_3OH$) em meio ácido pode ser representada pela equação:



Os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* vêm sendo estudados pela sua capacidade de liberar nutrientes minerais por meio da atividade enzimática e da acidificação do meio, cujo pH pode reduzir-se para valores entre 3 e 4 durante o processo de solubilização (Adedayo et al., 2023; Pradhan; Sukla, 2005). No estudo conduzido por Adedayo e equipe (2023), o fungo *T. viride* presente no solo promoveu aumento das concentrações de P, N, K no solo. No estudo de Bi et al. (2022) foram analisados os microrganismos solubilizadores de fósforo em sistema de alternância abrupta de seca e inundação. Como resultado os principais gêneros fúngicos solubilizadores de fosfato (PSF) na camada superficial foram *Fusarium*, *Penicillium* e *Aspergillus* (Bi et al., 2022). Assim como em Bi et al., (2022) no trabalho de Timofeeva et al. (2022) os microrganismos solubilizadores de fosfato mais importantes pertenciam aos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Chaetomium* (Timofeeva et al., 2022). Já na mineralização alguns dos

gêneros estudados pertenciam aos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma* (Timofeeva et al., 2022).

4.2.3 INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA

A resistência induzida (RI) é o processo realizado com a finalidade de aumentar o nível de resistência basal da planta utilizando-se agentes externos, que são chamados de indutores. Esta atividade visa sensibilizar a planta para a ativação de seus mecanismos de defesa (Vlot et al., 2021). A RI é classificada em resistência sistêmica induzida (RSI) e resistência sistêmica adquirida (RSA). A RSI está envolvida na inibição da invasão de fitopatógenos. A planta que sofre a indução não exibe alterações visíveis, como a necrose, por exemplo, e o agente indutor normalmente não é um patógeno. Já a RSA acontece como resposta da planta à uma infecção que provoca a necrose. Em decorrência da infecção, a planta ativa sua reação de defesa que a protegerá contra agressões subsequentes (Vlot et al., 2021).

A planta reconhece a infecção do patógeno invasor pela ativação de um gene de resistência (gene R) tanto na via induzida como na via adquirida, com isso ocorre a sinalização (Vlot et al., 2021). Alguns sinalizadores são ácidos salicílicos (SA), ácido jasmônico, etileno, e com isso ocorre a resposta de defesa da planta, por meio da produção de barreiras estruturais (cutícula, estômatos, celulose, lignina) e barreiras bioquímicas (fenóis, alcaloides, fototoxinas, peroxidases (POX), fenilalanina amônia-liase (PAL). Essas barreiras evitam ou atrasam a entrada do microrganismo na planta (Vlot et al., 2021). O gênero *Trichoderma* apresenta algumas cepas que estimulam a sinalização de etileno e ácido jasmônico, o que estimula a atividade de RSI nas plantas (Adedayo et al., 2023; El-Maraghy et al., 2021).

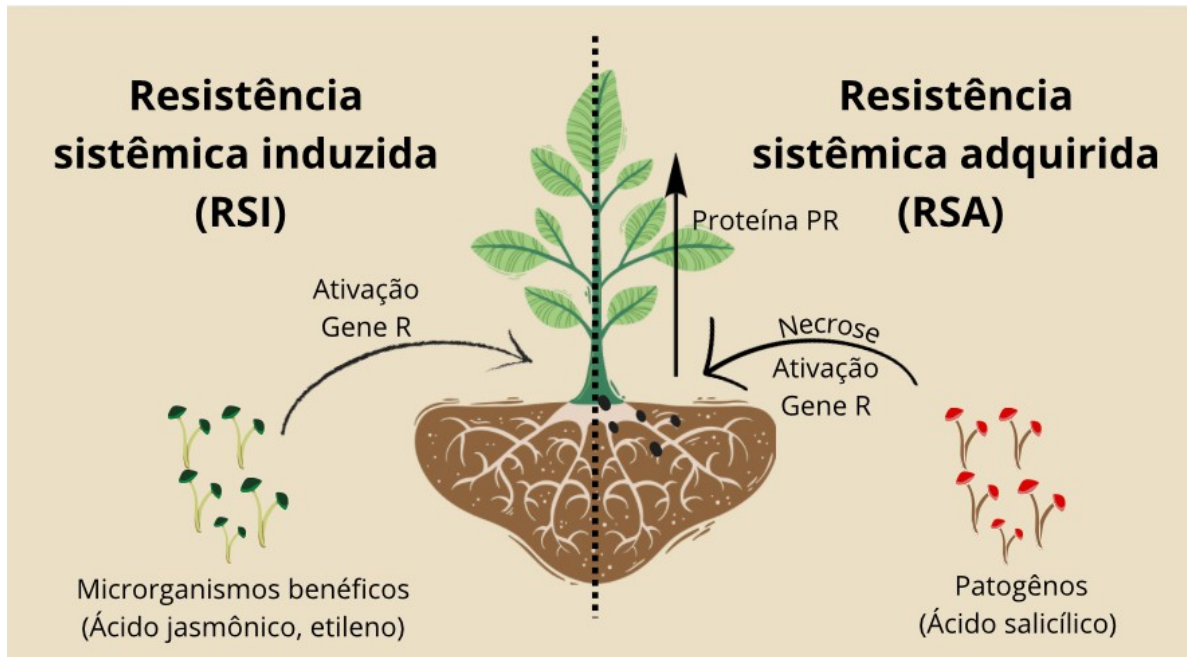


Figura 2: Representação esquemática da resistência sistêmica induzida (RSI) e da resistência sistêmica adquirida (RSA)

4.2.4 SIDERÓFOROS

Os sideróforos são moléculas específicas produzidas por microrganismos em condições de carência de ferro. Estas moléculas atuam como agentes quelantes, capazes de sequestrar o ferro, micronutriente essencial em ambientes limitados (El-Maraghy et al., 2021). Essa molécula quela e transporta o ferro para dentro da célula (El-Maraghy et al., 2021). Esses compostos ligam-se ao ferro (Fe^{3+}) , promovendo sua absorção e transporte para o interior celular, onde o material é reduzido e utilizado em processos metabólicos fundamentais (El-Maraghy et al., 2021).

Entre os principais grupos de sideróforos fúngicos, estão os do tipo hidroxomato podendo ser classificados em três famílias estruturais: fusarininas, caprogênios e ferricromos. (Renshaw et al., 2002) (Figura 3). Os fungos podem sintetizar mais de um tipo de sideroforo, como ocorre com o *Trichoderma pseudokoningii* e *T. longibrachiatum* que sintetizam todas as três estruturas de sideróforos mencionadas (Pecoraro et al., 2022). Outros gêneros também são conhecidos pela capacidade de sintetizar sideróforos, incluindo *Aspergillus*, *Alternaria*, *Candida*, *Fusarium*, *Penicillium* (Pecoraro et al., 2022).

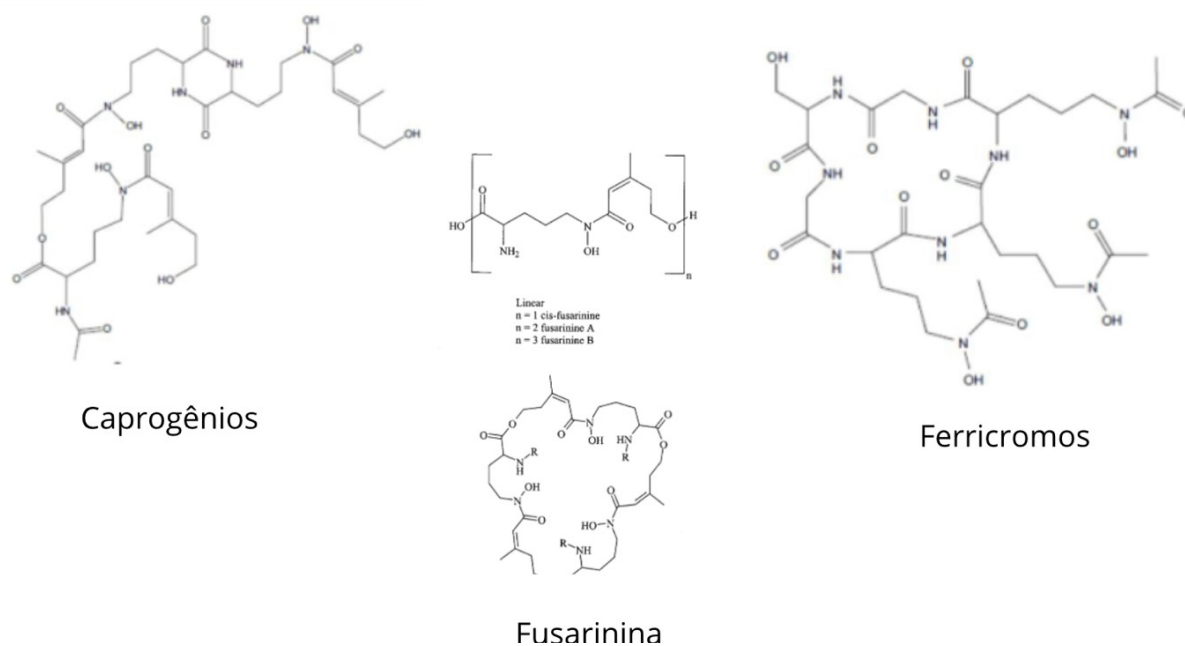


Figura 3: Estruturas químicas das três principais famílias de sideróforos fúngicos: coprogênios, fusarininas e ferricromos

Fonte: Pecoraro et al., 2022; Renshaw et al., 2002

A produção de sideróforos confere vantagem competitiva ao microrganismo produtor, uma vez que o ferro complexado pelos sideróforos torna-se indisponível a outros microrganismos contribuindo assim para a inibição do crescimento de potenciais competidores (El-Maraghy et al., 2021). Além dos efeitos sobre os microrganismos produtor, a síntese de sideróforos também é benéfica para as plantas, pois aumenta a disponibilidade de ferro na rizosfera, facilitando sua absorção pelas células vegetais (Ghorbani-Nasrabadi et al., 2020). Assim, fungos promotores de crescimento vegetal capazes de produzir sideróforos, melhoram o estado nutricional das plantas e indiretamente inibem patógenos, consolidando-se como uma estratégia natural de promoção de crescimento e de defesa vegetal (Pecoraro et al., 2022; El-Maraghy et al., 2021; Ghorbani-Nasrabadi et al., 2020).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 APLICAÇÕES COMERCIAIS NA AGRICULTURA: SCOPUS

Em relação ao número de artigos publicados no período de 2020 a 2025 relacionados aos FPCV, foi observado que, entre 2020 e 2021, houve um pequeno aumento no número de publicações, seguido por uma estabilidade nos anos de 2022 e 2023 (Figura 4). Em 2024, ocorreu um crescimento expressivo no número de trabalhos publicados, evidenciando o

crecente interesse científico pelo tema. Em 2025, embora o número de publicações seja superior ao observado entre 2020 e 2023, permanece abaixo do pico registrado em 2024. Ressalta-se que a busca foi realizada em julho de 2025, de modo que esse valor ainda deve aumentar até o final do ano, possivelmente superando o observado em 2024. Deve-se considerar também que os dados foram obtidos exclusivamente da base Scopus, e que, portanto, podem não refletir a totalidade das publicações disponíveis em outras bases científicas



Figura 4: Artigos publicados ao longo do ano de 2020 a 2025 com base na busca bibliométrica na base de dados *Scopus* utilizando os seguintes termos: ("novel" OR "newly discovered" OR "new species") AND ("plant growth-promoting fungi") AND ("agriculture" OR "crop production" OR "sustainable farming")) AND PUBYEAR > 2020" AND LIMITED TO Agricultural and Biological Sciences.

Fonte: Scopus, 2025

No período escolhido para a avaliação do estudo, nota-se que a distribuição das publicações relacionadas aos fungos promotores de crescimento vegetal (FPCV) varia por país. China e Índia lideram o número de publicações, com 5 artigos cada, seguidos pelo Brasil com quatro publicações. Países como Egito, Itália, Japão, Malásia e México registraram duas publicações cada, enquanto Argélia e Armênia apresentaram uma publicação. Esses dados indicam que, embora a pesquisa sobre FPCV esteja presente em diferentes regiões do mundo, existe uma concentração mais expressiva em países de grande produção agrícola, como China, Índia e Brasil (Figura 5).

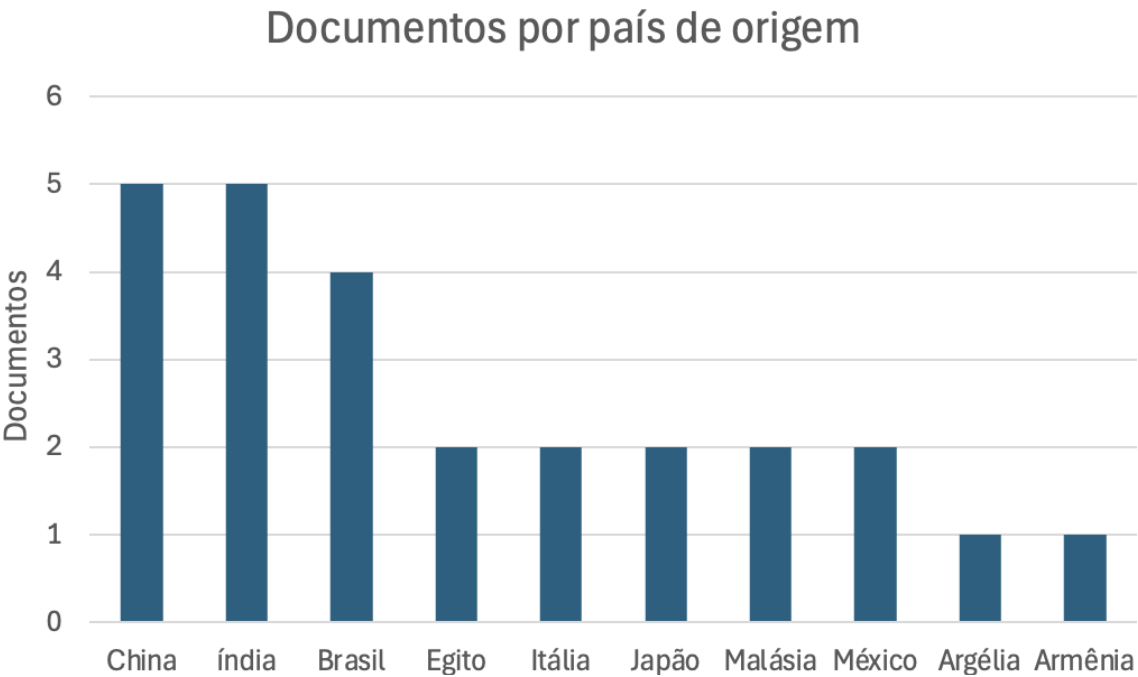


Figura 5: Distribuição das publicações por país com base na busca bibliométrica na base de dados *Scopus* utilizando os seguintes termos: ("novel" OR "newly discovered" OR "new species") AND ("plant growth-promoting fungi") AND ("agriculture" OR "crop production" OR "sustainable farming")) AND PUBYEAR > 2020” AND LIMITED TO Agricultural and Biological Sciences.
Fonte: Scopus, 2025

A tabela 1 apresenta o resumo dos trabalhos selecionados na análise bibliométrica, que especificaram o microrganismo avaliado. Esses dados são essenciais para compreender a trajetória das investigações sobre FPCVs, seus impactos na ciência agrícola e as tendências futuras desse tema.

Tabela 1: Fungos promotores de crescimento vegetal, País do estudo e os resultados encontrados

Microrganismo	Cultura	País	Resultados	Referência
<i>Purpureocillium lilacinum</i> , <i>Purpureocillium lavendulum</i> e <i>Metarhizium marquandii</i>	Milho, feijão e soja	Brasil	Solubilização de fósforo (P) e produção de ácido indolacético (IAA)	Baron <i>et al.</i> , 2020
<i>Trichoderma harzianum</i>	Cenoura	Polônia	Controlou <i>Alternaria</i> , <i>Fusarium</i> , <i>H aematonectria</i> , <i>Sclerotini a</i> e <i>Rhizoctonia</i>	Patkowska <i>et al.</i> , 2020

<i>T. harzianum</i> (PGT4), <i>T. reesei</i> (PGT5) and <i>T. reesei</i> (PGT13)		Índia	Atividade antibacteriana	Shobha et al., 2020
<i>Trichoderma</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Fusarium</i>		Egito	Revisão	El-Maraghy et al., 2021
<i>Beauveria bassiana</i> e <i>Trigo</i> <i>Metarhizium brunneum</i>		Espanha	Promotor de crescimento	González-Guzman et al., 2021
<i>Trichoderma reesei</i> , <i>Trigo de inverno</i> cv. Ada e cevada de primavera <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> e <i>Bacillus megaterium</i>		Lituânia	Aumento do conteúdo de carbono orgânico do solo, estabilidade dos agregados, relação C/N, relação ácidos húmicos e fúlvicos	Jurys et al., 2021
<i>Trichoderma afroharzianum</i>	Tomate	China	Aumentou da germinação	Zhao et al., 2021
<i>Beauveria bassiana</i> , <i>Metarhizium anisopliae</i> , <i>Pochonia chlamydosporia</i> , <i>Purpureocillium lilacinum</i> e <i>Trichoderma asperellum</i>	Soja e milho	Brasil	Estimula as micorrizas, aumenta absorção de nutrientes e atividade microbiana	Barbosa et al., 2022
<i>Trichoderma harzianum</i> TaK12 e <i>Trichoderma aureoviride</i> TaN16 <i>Penicillium citrinum</i> PcK10 e <i>Aspergillus niger</i> AnK	Arroz	Índia	Solubilização de fosfato	Sarkar et al., 2022
<i>Binucleate Rhizoctonia sp.</i>	Oliveira	Itália	Aumentou o crescimento da parte aérea; produziu AIA	Silvestri et al., 2022
<i>Cladosporium cladosporioides</i> , <i>Penicillium simplicissimum</i> , <i>P. simplicissimum</i> , <i>Aspergillus flavus</i> , <i>P. oxalicum</i>	Ervilhaca-peluca	Japão	Promoção de crescimento e biocontrole	Taheri et al., 2022
<i>Bacillus cereus</i> , <i>B. thuringiensis</i> e <i>Paenibacillus alve</i> , <i>Curvularia intermedia</i>	Jatobá	Brasil	Ajudou no estresse hídrico	Vitorino et al 2022

<i>Trichoderma</i> spp. (cepa RW309)	Milho	Japão	Inoculou no plantio	Asghar et al., 2024
<i>Trichoderma</i>		Malásia	Revisão	Abdullah et al., 2024
<i>Trichoderma</i>		Indonésia	Bioprospecção de fungos que diminuem os danos as plantas em relação ao estresse hídrico	Akbari et al., 2024
<i>Trichoderma guizhouense</i> NJAU4742	Azevinho-de-inverno	China	Aumentou teores de N, P, K, eficiência fotossintética.	Lu et al., 2024
<i>Trichoderma</i> spp., <i>Aspergillus</i> spp. e <i>Penicillium</i> spp	-	Índia	Bioprospecção, os melhores foram os citados com base em AIA, Giberelinas, solubilização de fosfato, sideróforos, VOCs	Mahadik et al., 2024
<i>Trichoderma harzianum</i>		Reino Unido	Aumento da esporulação por meio de estimulação acústica	Robinson et al., 2024
<i>Meyerozyma</i> e <i>Starmerella</i> <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Syncephalastrum</i> e <i>Talaromyces</i> , <i>Alternaria</i> , <i>Beauveria</i> e <i>Trichoderma</i>		Brasil	Revisão	Trentin et al., 2024
<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	Pinus-bravo	China	Diminuiu fitopatogênicos (<i>F. oxysporum</i>)	Yu et al., 2024
<i>Trichoderma asperellum</i>	Alface	México	Inoculou no plantio	Gutiérrez-Chávez et al., 2025
<i>T. harzianum</i> JUSPF-1 and <i>T. reesei</i> JUSPF-110	Milheto africano	Índia	Inoculou no plantio; Fitormônios (AIA, Giberelina, ácido salicílico, ácido jasmônico, Epibrassinolida e ácido abscísico e VOCs (6-Pentyl-2H-pyran-2-,DL-	Mahadik et al., 2025

			Tryptofano, Nonadeceno e outros alcenos)		
FPCVs (<i>Cladosporium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Talaromyces</i> , <i>Inocybe</i> , <i>Psathyrella</i> , <i>Rhizoglyphus</i> , <i>Conidiobolus</i> , <i>Mortierella</i> , <i>Phoma</i>), endófitos (<i>Acrocalymma</i> , <i>Agrocybe</i> , <i>Clitopilus</i> , <i>Cunninghamella</i> , <i>Torula</i>) e ectomicorrízicos (<i>Pisolithus</i> e <i>Scleroderma</i>)	Milho e vegetais - tomate / feijão	Índia	Não teve inoculação- estudo de <i>metabarcoding</i>	Naresh et al., 2025	
<i>Rhizophagus variabilis</i> KS-02 e <i>Trichoderma zebryae</i> PBMP16	Arroz Maled Phai	Tailândia	Inoculou no plantio	Seemakram et al., 2025	
<i>Penicillium spp.</i> e <i>Trichoderma spp.</i>	-	China	Revisão	Sun et al., 2025	

Fonte: elaborado pela autora.

As principais culturas identificadas foram milho (3), arroz (2), tomate (2), feijão (2) e soja (2). Entre os microrganismos, o gênero *Trichoderma* é o mais recorrente, com 25 registros, destacando-se o complexo *harzianum*, com cinco menções, sendo quatro *T. harzianum* e um *T. afroharzianum*, além de referências de *T. reesei* (4), *T. asperellum* (2), *T. longibrachiatum* (2), *T. guizhouense* (2) e *T. aureoviride* (1). O segundo gênero mais citado foi o *Penicillium*, com oito registros incluindo *P. citrinum* e *P. simplicissimum*. Outros gêneros também foram reportados como o *Aspergillus*, com cinco registros, *Cladosporium* (2), *Talaromyces* (2), *Beauveria* (2), *Metarhizium* (3), *Purpureocillium* (2). Esses dados evidenciam que, embora diferentes gêneros de fungos apresentem potencial promotor de crescimento vegetal, o predomínio do *Trichoderma* reflete sua ampla utilização e relevância científica.

A diversidade de gêneros e abordagens observadas demonstra que os FPCV vem sendo investigados para múltiplas finalidades, abrangendo desde o estímulo fisiológico das plantas até o controle biológico e o aumento da eficiência nutricional, reforçando seu potencial como ferramentas sustentáveis para a agricultura.

No contexto das aplicações comerciais, destacam-se os microrganismos com ação multissítio, isto é, cepas capazes de atuar simultaneamente por diferentes mecanismos sobre o sistema solo e planta. Em FPCV, isso costuma incluir bioestimulação hormonal (AIA, giberelinas, modulação de ABA/JA/ET), aumento da disponibilidade de nutrientes (solubilização/mineralização de P, sideróforos para Fe), biocontrole direto (competição,

antibiose, micoparasitismo e enzimas líticas) e indução de defesas (RSI/RSA) Köhl; Kolnaar; Ravensberg, 2019; Vlot et al., 2021. Essa redundância funcional é estratégica para a lavoura porque reduz o risco de perda de eficácia frente a variações de safra, ambiente e pressão de patógenos, além de dificultar a seleção de resistência típica de insumos monoalvo (Köhl; Kolnaar; Ravensberg, 2019).

Entre os gêneros avaliados nesta revisão, *Trichoderma* é o exemplo mais recorrente de ação multissítio: combina bioestímulo e biocontrole (antibiose, micoparasitismo com quitinases/glucanases) e ainda aciona RSI mediada por JA/ET, trazendo ganhos em vigor, enraizamento e supressividade (ver Tabela 1) (Asghar et al., 2024; Zhao et al., 2021). *Penicillium* e *Aspergillus* frequentemente somam solubilização de fosfatos (ácidos orgânicos e fosfatases) com efeitos indiretos de proteção (alterações de pH, quelantes e metabólitos), enquanto fungos micorrízicos arbusculares (p.ex., *Glomus/Funneliformis*) ampliam a exploração radicular e a eficiência de uso de nutrientes, modulando a tolerância a estresses e interagindo positivamente com outros FPCV (Adedayo et al., 2023; Timofeeva et al., 2022; Zhou et al., 2025). Na prática, produtos que exploram consórcios ou cepas de amplo espectro tendem a apresentar maior estabilidade de performance entre locais e safras, além de sinergias quando combinados a boas práticas de manejo nutricional e sanitário.

5.2 APLICAÇÕES COMERCIAIS NA AGRICULTURA: BIOINSUMOS

Para as culturas de feijão, tomate e arroz não foram encontrados fungos como inoculantes. Na cultura da soja foram listados 434 produtos, dos quais nove continham fungos, *Trichoderma asperelloides*, *T. asperellum*, *T. endophyticum*, *T. harzianum*, *T. koningiopsis*, *Claroideoglomus claroideum* e o *Rhizoglomus intraradices* (Tabela 2).

Tabela 2: Empresas e microrganismos presentes em inoculantes registrados para a cultura da soja no aplicativo Bioinsumos. Os dados não consideram o número de repetições.

EMPRESA	MICROORGANISMO
Total Biotecnologia Indústria e Comércio S/A	<i>Trichoderma asperelloides</i>
Sumitomo Chemical do Brasil Representações LTDA	<i>Claroideoglomus claroideum</i> ; <i>Rhizoglomus intraradices</i>
JCO Indústria E Comércio De Fertilizantes LTDA	<i>Trichoderma asperellum</i>
Innova LTDA	<i>Trichoderma endophyticum</i>

ICB Bioagritec LTDA	<i>Trichoderma asperellum</i> ; <i>Trichoderma harzianum</i> ; <i>Trichoderma koningiopsis</i>
Genetica Tecnologias Ambientais LTDA	<i>Trichoderma asperellum</i> ; <i>Trichoderma harzianum</i>

Na cultura do milho, de 87 produtos, 14 contêm fungos, sendo eles *Claroideoglomus claroideum*, *Rhizoglobus intraradices*, *Saccharomyces cerevisiae* e *Rhizophagus intraradices* (Tabela 3). Na cultura do milho, há ocorrência tanto de fungos quanto de bactérias, por isso, ambos foram reportados, com destaque para os fungos.

Tabela 3: Empresas e microrganismos presentes em inoculantes registrados para a cultura do milho no aplicativo Bioinsumos. Os dados não consideram o número de repetições.

EMPRESA	MICROORGANISMO
HS2M Comércio, Importação e Exportação de Insumos Agrícolas LTDA	<i>Rhizophagus intraradices</i>
Noen Biotecnologia LTDA	<i>Lactobacillus plantarum</i> ; <i>Rhodopseudomonas palustris</i> ; <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
Sumitomo Chemical do Brasil Representações LTDA	<i>Rhizoglobus intraradices</i>
Sumitomo Chemical Brasil Indústria Química S.A.	<i>Claroideoglomus claroideum</i> ; <i>Rhizoglobus intraradices</i>
Sumitomo Chemical do Brasil Representações LTDA	<i>Rhizoglobus intraradices</i>

Dentre os inoculantes registrados para a soja, de um total de 434 produtos apenas 9 produtos apresentavam fungos em sua composição, correspondente a aproximadamente 2% do total, sendo a maioria pertencente ao gênero *Trichoderma*. Na cultura do milho, esse valor foi mais elevado, alcançando cerca de 16%, com a predominância de fungos micorrízicos do gênero *Rhizoglobus*. Esse padrão também foi observado na busca bibliográfica, na qual se verificou maior número de estudos envolvendo fungos associados à produção de milho em comparação à soja, destacando-se novamente o predomínio de *Trichoderma* nesta última cultura.

6 CONCLUSÕES

Os dados bibliométricos e regulatórios convergem para a predominância de *Trichoderma* nas publicações científicas e para a relevância de fungos micorrízicos e *Trichoderma* nas formulações comerciais no Brasil. Essa tendência pode ser explicada por fatores biológicos e técnicos: o gênero *Trichoderma* é amplamente distribuído nos solos, de fácil isolamento e cultivo em laboratório, apresentando elevada taxa de crescimento, esporulação abundante e comprovada eficácia em múltiplas funções. Os fungos micorrízicos especialmente do gênero *Glomus*, estabelecem associações simbióticas com a maioria das plantas cultivadas, aumentando a área de absorção radicular e, conseqüentemente, a captação de água e nutrientes. Entretanto, observam-se lacunas nos registros de inoculantes à base de fungos para culturas como feijão, tomate e arroz.

A pesquisa sobre fungos promotores de crescimento vegetal é extremamente relevante, visto que existem diversos estudos sobre o tema, embora haja um número limitado de produtos comerciais à base de fungos. Além disso, muitos estudos sobre os FPCV permanecem restritos a trabalhos de iniciação científica, dissertações, teses, não sendo divulgadas em revistas por questões de patente ou de proteção intelectual. Assim, embora a pesquisa sobre fungos promotores de crescimento vegetal seja consolidada e em expansão, ainda existe amplo espaço para transformar esse conhecimento em novos produtos capazes de fortalecer uma agricultura mais sustentável com base em bioinsumos no país.

7 REFERÊNCIAS

Abdullah, Nur Syafikah; Doni, Febri; Awal, Muhammad Adil; Mispan, Muhamad Shakirin; Saiman, Mohd Zuwairi; Mohd-Yusuf, Yusmin; Mohd Suhaimi, Nurul Shamsinah. Multi-omics tools for understanding *Trichoderma*-plant symbiosis: biotechnological developments and future directions. ***Symbiosis***, v. 94, p. 1-18, 2024.

Adedayo, Afeez Adesina; Babalola, Olubukola Oluranti. *Fungi That Promote Plant Growth in the Rhizosphere Boost Crop Growth*. ***Journal of Fungi***, Basel, v. 9, n. 2, p. 239, 10 fev. 2023.

Akbari, Sulistya Ika et al. Bioprospecting the roles of *Trichoderma* in alleviating plants' drought tolerance: principles, mechanisms of action, and prospects. ***Microbiological Research***, v. 283, p. 127665, jun. 2024.

Al-Taie, Azher Hameed; Al-Zubaidi, Noor Khadhum; Matrood, Abdulnabi Abdul Ameer; Rhouma, Abdelhak. Role of plant growth promoting fungi and doses of chemical fertilizers in improving agronomic response for sustainable wheat crop production. ***Plant Science Today***, v. 11, n. 2, p. 01-07, 2024.

Asad, Suhail; Chen, Mei; Priyashantha, Alviti Kankanamalage Hasith; Gu, Peng; Liu, Jie; Shan, Zhiguo; Tibpromma, Saowaluck; Niu, Chen; Qadir, Masood; Akhtar, Muhammad; Kan, Xurundong; Xu, Yiren; Liu, Zaiqiong; Karunarathna, Samantha C.; Zhang, Jianqiang. Mapping of plant–fungal interactions on agriculture perception: a bibliometric analysis and systematic review. ***Frontiers in Microbiology***, v. 16, 10 out. 2025.

Asghar, Waleed; Kataoka, Ryota. Co-application of green manure and *Trichoderma* spp. induced plant growth promotion by nutrient improvement and increased fungal biomass in soil. ***Organic Agriculture***, Dordrecht, 2024.

Asniwita, Novalina, Syarif, M., Bestari, A. V., & Obura, B. O. (2024). Exploration Of Indigenous Plant Growth Promoting Fungi (Pgpf) As Biological Control Agents And Biofertilizer. ***Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi***, 8(1), 240–250.

Attia, M. S. et al. *Plant Growth-Promoting Fungi as Biocontrol Tool against Tomato Fusarium Wilt: Dual Role in Nutrient Mobilization and Disease Suppression*. ***Frontiers in Microbiology***, 2022.

Barbosa, Bruno B.; Pimentel, Jayder Pereira; Rodovalho, Nathália Silva; Bertini, S.C.B.; Kumar, A.; Ferreira, L.F.R.; Azevedo, L.C.B. *Ascomycetous isolates promote soil biological and nutritional attributes in corn and soybeans in sandy and clayey soils*. ***Rhizosphere***, v. 24, p. 100625, 2022.

Barelli, L. et al. Fungi with multifunctional lifestyles: endophytic insect pathogenic fungi. ***Plant molecular biology***, Dordrecht, v. 90, n. 6, p. 657-664, Apr. 2016.

Baron, Noemi Carla; Pollo, Andressa de Souza; Rigobelo, Everlon Cid. *Purpureocillium lilacinum and Metarhizium marquandii as plant growth-promoting fungi*. ***PeerJ***, San Francisco, v. 8, p. e9005, 27 maio 2020.

Bi, Wuxia; Weng, Baisha; Yan, Denghua; Wang, Hao; Wang, Mengke; Yan, Siying; Jing, Lanshu; Liu, Tiejun; Chang, Wenjuan. *Responses of phosphate-solubilizing microorganisms mediated phosphorus cycling to drought-flood abrupt alternation in summer maize field soil*. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, p. 768921, 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária. *Bioinsumos*. Versão 3.0. Brasília: MAPA, 2025. Aplicativo móvel.

Castro-Barquero, L. (2024). Incremento De La Fijación Biológica De Nitrógeno Y El Crecimiento De La Soya (*Glycine max*) Mediante El Uso De Hongos Solubilizadores De Fósforo. **In Agronomía Costarricense** (Vol. 48, Issue 1).

De Palma, M., Scotti, R., D'Agostino, N., Zaccardelli, M., & Tucci, M. (2022). Phyto-Friendly Soil Bacteria and Fungi Provide Beneficial Outcomes in the Host Plant by Differently Modulating Its Responses through (In)Direct Mechanisms. **Plants** (Vol. 11, Issue 20). MDPI.

El-Maraghy, S. S., Tohamy, A. T., & Hussein, K. A. (2021). Plant protection properties of the Plant Growth-Promoting Fungi (PGPF): Mechanisms and potentiality. **Current Research in Environmental and Applied Mycology (Journal of Fungal Biology)**, 11, 391–415.

El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Soliman, S. M., Salem, H. M., Ahmed, A. I., Mahmood, M., El-Tahan, A. M., Ebrahim, A. A. M., Abd El-Mageed, T. A., Negm, S. H., Selim, S., Babalghith, A. O., Elrys, A. S., El-Tarabily, K. A., & AbuQamar, S. F. (2022a). Plant growth-promoting microorganisms as biocontrol agents of plant diseases: Mechanisms, challenges and future perspectives. **In Frontiers in Plant Science** (Vol. 13). Frontiers Media S.A.

Etesami, H., & Glick, B. R. (2020). Halotolerant plant growth-promoting bacteria: Prospects for alleviating salinity stress in plants. **Environmental and Experimental Botany**, 178.

FERREIRA, R. C. et al. Soybean Yield Losses Related to Drought Events in Brazil: Spatial-Temporal Trends over Five Decades and Management Strategies. **Agriculture**, v. 14, n. 12, art. 2144, 2024.

González-Guzmán, A. et al. Effects of entomopathogenic fungi on durum wheat nutrition and growth in the field. **European Journal of Agronomy**, v. 128, 126282, 2021.

Gutiérrez-Chávez, A.; Robles-Hernández, L.; Guerrero, B. I.; González-Franco, A. C.; Medina-Pérez, G.; Acevedo-Barrera, A. A.; Hernández-Huerta, J. *Potential of *Trichoderma asperellum* as a Growth Promoter in Hydroponic Lettuce Cultivated in a Floating-Root System*. **Plants**, Basel, v. 14, n. 3, p. 382, 2025.

Hakim, S., Naqqash, T., Nawaz, M. S., Laraib, I., Siddique, M. J., Zia, R., Mirza, M. S., & Imran, A. (2021). Rhizosphere Engineering With Plant Growth-Promoting Microorganisms for Agriculture and Ecological Sustainability. **In Frontiers in Sustainable Food Systems** (Vol. 5). Frontiers Media S.A.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Mudança do Clima 2023: Relatório Síntese. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. *Genebra*: IPCC, 2023.

Jurys, Arnoldas; Feizienė, Dalia. The Effect of Specific Soil Microorganisms on Soil Quality Parameters and Organic Matter Content for Cereal Production. *Plants*, v. 10, n. 10, p. 2000, 2021.

Köhl, J.; Kolnaar, R.; Ravensberg, W. J. Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, p. 845, 2019.

Lu, Huixin; Zhou, Peng; Li, Fei; Wang, Yanjie; Gu, Jiaying; Wang, Ying; Sun, Shubin; Zhang, Min; Wang, Xiaowen. *Trichoderma guizhouense* NJAU4742 augments morphophysiological responses, nutrient availability and photosynthetic efficacy of ornamental *Ilex verticillata*. *Journal of Applied Microbiology*, 2024.

Mahadik, Sunita Pandurang; Patil, Savita Veeranagouda; Kumudini, Belur Satyan. *Bioprospecting rhizosphere fungi endowed with multifarious plant growth-promoting potential to enhance finger millet growth under salinity stress*. *Plant Growth Regulation*, Dordrecht, v. 104, n. 3, p. 1483–1505, nov. 2024.

Mahadik, S.P., Kumudini, B.S. “Novel Funnel Bottle Approach to Harness Rhizofungal Hormones and Effect of Volatile Organic Compounds on Finger Millet Growth Under Salinity Stress”. *J Plant Growth Regul* (2025).

Murali, Mahadevamurthy; Naziya, Banu; Ansari, Mohammad Azam; Alomary, Mohammad N.; Alyahya, Sami; Almatroudi, Ahmad; Thriveni, M. C.; Gowtham, Hittanahallikoppal Gajendramrthy; Singh, Sudarshana Brijesh; Aiyaz, Mohammed; Kalegowda, Nataraj; Lakshmidevi, Nanjaiah; Amruthesh, K. Nagaraj. *Bioprospecting of rhizosphere-resident fungi: their role and importance in sustainable agriculture*. *Journal of Fungi*, Basel, v. 7, n. 4, p. 314, 18 abr. 2021.

Naresh, Pratyusha; Singh, Indira. Organic mulching in regenerative agriculture enhances saprotrophs and concomitantly reduces pathogenic fungal genera. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 2025.

Naamala, J., & Smith, D. L. (2020). Relevance of plant growth promoting microorganisms and their derived compounds, in the face of climate change. *In Agronomy* (Vol. 10, Issue 8). MDPI AG.

NÓIA-JÚNIOR, R. S. et al. Extreme Weather Events in Southern Brazil Warn of Agricultural Vulnerability to Climate Change. *Science of The Total Environment*, v. 943, p. 173612, 2025.

Ortiz, A. M. D., Outhwaite, C. L., Dalin, C., & Newbold, T. (2021). A review of the interactions between biodiversity, agriculture, climate change, and international trade: research and policy priorities. *In One Earth* (Vol. 4, Issue 1, pp. 88–101). Cell Press.

Patkowska, Elżbieta; Mielniczuk, Elżbieta; Jamiołkowska, Agnieszka; Skwaryło-Bednarz, Barbara; Błażewicz-Woźniak, Marzena. The Influence of *Trichoderma harzianum* Rifai T-22 and Other Biostimulants on Rhizosphere Beneficial Microorganisms of Carrot. *Agronomy*, v. 10, n. 11, p. 1637, 2020.

Pecoraro, Lorenzo; Wang, Xiao; Shah, Dawood; Song, Xiaoxuan; Kumar, Vishal; Shakoor, Abdul; Tripathi, Keshawanand; Ramteke, Pramod W.; Rani, Rupa. Vias de biossíntese, mecanismos de transporte e aplicações biotecnológicas. *Biosynthesis Pathways, Transport Mechanisms and Biotechnological Applications of Fungal Siderophores*. **Journal of Fungi**, v. 8, n. 1, p. 21, 2022.

Pereira, T. dos S.; Paula, A. M. de; Ferrari, L. H.; Silva, J. da; Pinheiro, J. B.; Navas Cajamarca, S. M.; Jindo, K.; Santos, M. P.; Zandonadi, D. B.; Busato, J. G. Trichoderma-Enriched Vermicompost Extracts Reduces Nematode Biotic Stress in Tomato and Bell Pepper Crops. *Agronomy*, v. 11, n. 8, art. 1655, 2021.

Pradhan, N.; Sukla, L. B. Solubilization of inorganic phosphates by fungi isolated from agriculture soil. *African Journal of Biotechnology*, v. 5, n. 10, p. 850-854, 16 maio 2005.

Renshaw, Joanna C.; Robson, Geoff D.; Trinci, Anthony P. J.; Wiebe, Marilyn G.; Livens, Francis R.; Collison, David; Taylor, Robin J. Fungal siderophores: structures, functions and applications. *Mycological Research*, Cambridge, v. 106, n. 10, p. 1123-1142, out. 2002.

Robinson, Jake M.; Annells, Amy; Cando-Dumancela, Christian; Breed, Martin F. Sonic restoration: acoustic stimulation enhances plant growth-promoting fungi activity. *Biology Letters*, v. 20, n. 10, p. 20240295, out. 2024.

Rodríguez, Luis Andrés Yarzabal; Álvarez Gutiérrez, Peggy Elizabeth; Gunde-Cimerman, Nina; et al. Exploring extremophilic fungi in soil mycobiome for sustainable agriculture amid global change. *Nature communications*, v. 15, art. 6951, 2024.

Sarkar, Monalisha; Tiru, Zerald; Pal, Ayon; Mandal, Parimal. *Screening of Plant Growth Promoting Fungi (PGPF) for Sustainable Cultivation of Tulaipanji, an Endemic Aromatic Rice Variety of Uttar Dinajpur, West Bengal, India*. **Agricultural Science Digest**, v. 42, n. 6, p. 741–746, 2022.

Seemakram, Wasan; Nacoon, Sabaiporn; Ekprasert, Jindarat; Theerakulpisut, Piyada; Sanitchon, Jirawat; Boonlue, Sophon. *The Potential of Plant Growth-Promoting Fungi Enhances the Growth, Yield, and Phytochemical Compounds of Oryza sativa L. (Maled Phai Cultivar) Under Field Conditions*. **Plants**, Basel, v. 14, n. 12, p. 1839, 15 jun. 2025.

Shobha, Balagangadharaswamy; Lakshmeesha, Thimappa Ramachandrappa; Ansari, Mohammad Azam; Almatroudi, Ahmad; Alzohary, Mohammad A.; Basavaraju, Sumanth; Alurappa, Ramesha; Niranjana, Siddapura Ramachandrappa; Chowdappa, Srinivas. Mycosynthesis of ZnO nanoparticles using *Trichoderma* spp. isolated from rhizosphere soils and its synergistic antibacterial effect against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. **Journal of Fungi**, v. 6, n. 3, p. 181, 2020.

Silvestri, L.; Barbagallo, M. G.; Zapparoli, G.; Caccia, L.; Perrone, G.; Ventura, S.; Siracusa, G. Binucleate *Rhizoctonia* sp. AG-A, indigenous plant-growth promoting fungus in semi-arid Mediterranean soils. *Rhizosphere*, v. 22, p. 100524, 2022.

Sun, W.; Shahrajabian, M. H.; Guan, L. The biocontrol and growth promoting potential of *Penicillium* spp. and *Trichoderma* spp. in sustainable agriculture. *Plants*, Basel, v. 14, n. 13, p. 2007, 2025.

Szopa, D., Mielczarek, M., Skrzypczak, D., Izydorczyk, G., Mikula, K., Chojnacka, K., & Witek-Krowiak, A. (2022). Encapsulation efficiency and survival of plant growth-promoting microorganisms in an alginate-based matrix – A systematic review and protocol for a practical approach. *Industrial Crops and Products*, 181.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. Fisiologia E Desenvolvimento Vegetal. 6ª Edição. Porto Alegre: Artmed, 2017.

Trentin, A. B. et al. *Rooting for growth: Meta-analyzing the role of Endophytic fungi in plant growth*. *Scientia Horticulturae*, v. 333, p. 113276, jul. 2024.

Timofeeva, A., Galyamova, M., & Sedykh, S. (2022). Prospects for Using Phosphate-Solubilizing Microorganisms as Natural Fertilizers in Agriculture. *In Plants* (Vol. 11, Issue 16). MDPI.

Taheri, Parisa; Kaida, Rumi; Dastogeer, Khondoker M. G.; Appiah, Kwame Sarpong; Yasuda, Michiko; Tanaka, Keisuke; Mardani Korrani, Hossein; Azizi, Majid; Okazaki, Shin; Fujii, Yoshiharu. Isolation and Functional Characterization of Culture-Dependent Endophytes Associated with *Vicia villosa* Roth. *Agronomy*, v. 12, n. 10, p. 2417, 2022.

Ullah, A., Bano, A., & Khan, N. (2021). Climate Change and Salinity Effects on Crops and Chemical Communication Between Plants and Plant Growth-Promoting Microorganisms Under Stress. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5.

Vitorino, Luciana Cristina; Rocha, Ana Flávia De Souza; Bessa, Layara Alexandre; Lourenço, Lucas Loram; Costa, Alan Carlos Da; Silva, Fabiano Guimarães. Symbiotic microorganisms affect the resilience of *Hymenaea courbaril* L., a neotropical fruit tree, to water restriction. *Plant Stress*, v. 5, p. 100092, 2022.

Vlot, A. C.; Sales, J. H.; Lenk, M.; Bauer, K.; Brambilla, A.; Sommer, A.; Chen, Y.; Wenig, M.; Nayem, S. Systemic propagation of immunity in plants. *New Phytologist*, 2021.

Wongpiyabovorn, O.; Hart, C. *Examining the factors of fertilizer pricing*. *Journal of the Agricultural and Applied Economics Association*, 2024.

Yu, Cun; Lv, Jun; Xu, Hongyun. *Plant growth-promoting fungi and rhizobacteria control Fusarium damping-off in Mason pine seedlings by impacting rhizosphere microbes and altering plant physiological pathways*. *Plant and Soil*, v. 499, p. 503–519, 16 jan. 2024.

ZHAO, Juan et al. Transcriptomic insights into growth promotion effect of *Trichoderma afroharzianum* TM2-4 microbial agent on tomato plants. *Journal of Integrative Agriculture*, v. 20, n. 5, p. 1266–1276, 2021.

ZHOU, R.; GAO, L.; ZHANG, X.; et al. Growth-promoting effects of arbuscular mycorrhizal fungus *Funneliformis mosseae* across multiple host species. ***Frontiers in Microbiology***, v. 16, 2025, art. 1549006.