

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VANESSA DE FATIMA VOLF

**PROSPECÇÃO DE *Trichoderma* spp. COM POTENCIAL DE BIOCONTROLE DE
FITOPATÓGENOS E SOLUBILIZAÇÃO DE FÓSFORO E POTÁSSIO**

DOIS VIZINHOS

2026

VANESSA DE FATIMA VOLF

**PROSPECÇÃO DE *Trichoderma* spp. COM POTENCIAL DE BIOCONTROLE DE
FITOPATÓGENOS E SOLUBILIZAÇÃO DE FÓSFORO E POTÁSSIO**

**Prospection of *Trichoderma* spp. with potential for biocontrol of
phytopathogens and solubilization of phosphorus and potassium**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Agronomia, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Sergio Miguel Mazaro.
Coorientador(a): Maira Cristina Schuster Russiano

DOIS VIZINHOS

2026



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

VANESSA DE FATIMA VOLF

**PROSPECÇÃO DE *Trichoderma* spp. COM POTENCIAL DE BIOCONTROLE DE
FITOPATÓGENOS E SOLUBILIZAÇÃO DE FÓSFORO E POTÁSSIO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Agronomia da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 15/junho/2026

Sergio Miguel Mazaro
Doutor em Produção Vegetal
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Lucas da Silva Domingues
Doutor em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ana Maria Minela
Mestre em Agroecossistemas
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

DOIS VIZINHOS

2026

RESUMO

As doenças radiculares causadas por fungos fitopatogênicos representam um dos principais problemas fitossanitários da cultura da soja (*Glycine max* L.), ocasionando redução no desenvolvimento das plantas e perdas de produtividade. Nesse contexto, o uso de agentes biológicos tem se destacado como alternativa sustentável para o manejo dessas doenças. O presente trabalho teve como objetivo prospectar isolados de *Trichoderma* spp. com potencial de biocontrole de fungos fitopatogênicos associados à cultura da soja, bem como avaliar sua capacidade de solubilização de fósforo e potássio. Para o isolamento dos agentes biológicos, foram utilizadas iscas compostas por arroz colonizado com *Fusarium tucumaniae*, distribuídas em áreas de vegetação nos municípios de São João e Nova Prata do Iguaçu, Paraná. Após 20 dias de permanência no campo dessas iscas, o material foi coletado e encaminhado ao laboratório para o isolamento dos microrganismos em meio de cultura BDA (Batata-Dextrose-Ágar). Posteriormente, os isolados foram identificados molecularmente como *Trichoderma scalesiae* (T.s V1), *Trichoderma scalesiae* (T.s V4), *Trichoderma breve* (T.b V11), *Trichoderma harzianum* (T.h NP1) e *Trichoderma harzianum* (T.h NP2). A avaliação do potencial de biocontrole foi realizada em meio BDA, por meio de confronto direto contra os fitopatógenos *Macrophomina phaseolina*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Rhizoctonia solani* e *Fusarium tucumaniae*. A capacidade de solubilização de fósforo e potássio foi avaliada, respectivamente, em meio de cultura NBRIP e em meio Pikovskaya modificado, ambos em condições *in vitro*. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições por tratamento. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e à análise de regressão, utilizando o software Rbio. Os resultados demonstraram que todos os isolados apresentaram potencial de biocontrole, promovendo reduções de até 68% no crescimento micelial de *Rhizoctonia solani*, 56% de *Fusarium tucumaniae*, 46% de *Sclerotinia sclerotiorum* e 41% de *Macrophomina phaseolina*. Durante os confrontos, observaram-se mecanismos de competição por espaço e nutrientes e de micoparasitismo. Além disso, os isolados apresentaram formação de halos de solubilização e alteração da coloração dos meios de cultura, evidenciando potencial para solubilização de fósforo e potássio. Conclui-se que os isolados prospectados de *Trichoderma* spp. apresentam potencial para o biocontrole de fungos fitopatogênicos e para a disponibilização de nutrientes, demonstrando sua relevância como alternativa sustentável para o manejo agrícola.

Palavras-chave: Fungos; antagonistas; biocontrole; solubilização.

ABSTRACT

Root diseases caused by phytopathogenic fungi represent one of the major phytosanitary problems in soybean (*Glycine max* L.) cultivation, leading to reduced plant development and yield losses. In this context, the use of biological agents has emerged as a sustainable alternative for managing these diseases. This study aimed to screen *Trichoderma* spp. isolates for their potential to biocontrol phytopathogenic fungi associated with soybean crops, as well as to evaluate their phosphorus and potassium solubilization capabilities. To isolate the biological agents, baits consisting of rice colonized by *Fusarium tucumaniae* were deployed in vegetated areas in the municipalities of São João and Nova Prata do Iguaçu, Paraná. After the baits remained in the field for 20 days, the material was collected and sent to the laboratory for microorganism isolation using Potato Dextrose Agar (PDA) medium. Subsequently, the isolates were molecularly identified as *Trichoderma scalesiae* (T.s V1), *Trichoderma scalesiae* (T.s V4), *Trichoderma breve* (T.b V11), *Trichoderma harzianum* (T.h NP1), and *Trichoderma harzianum* (T.h NP2). Biocontrol potential was evaluated on PDA medium through direct confrontation assays against the phytopathogens *Macrophomina phaseolina*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Rhizoctonia solani*, and *Fusarium tucumaniae*. Phosphorus and potassium solubilization capacities were evaluated *in vitro* using NBRIP medium and modified Pikovskaya medium, respectively. The experiment followed a completely randomized design with three replicates per treatment. Data were subjected to the Shapiro-Wilk normality test and regression analysis using Rbio software. The results demonstrated that all isolates exhibited biocontrol potential, promoting reductions of up to 68% in the mycelial growth of *Rhizoctonia solani*, 56% for *Fusarium tucumaniae*, 46% for *Sclerotinia sclerotiorum*, and 41% for *Macrophomina phaseolina*. During the interaction assays, mechanisms involving competition for space and nutrients, as well as mycoparasitism, were observed. Furthermore, the isolates formed solubilization halos and altered the color of the culture media, indicating potential for phosphorus and potassium solubilization. It is concluded that the prospected *Trichoderma* spp. isolates show potential for the biocontrol of phytopathogenic fungi and for nutrient availability, demonstrating their relevance as a sustainable alternative for agricultural management.

Keywords: Fungi; antagonists; biocontrol; solubilization.

LISTA DE FIGURAS

Quadro 01 - Locais de implantação das iscas na cidade de São João-PR.....	22
Quadro 02 - Locais de implantação das iscas na cidade de Nova Prata do Iguaçu.....	23
Figura 1 - Métodos de implantação das iscas em campo: (a) saquinhos confeccionados com tela de nylon contendo arroz colonizado por <i>Fusarium tucumaniae</i> ; (b) garrafa PET envolta com tela de nylon.	23
Figura 2 – Iscas biológicas coletadas em campo apresentando colonização por fungos do gênero <i>Trichoderma</i> : (a) saquinho de tela de nylon contendo arroz utilizado como isca; (b) material da isca após abertura da garrafa PET.....	24
Quadro 03 - Identificação dos isolados encontrados.....	25
Figura 3 - Etapas da condução do ensaio de confronto direto entre microrganismos: (a) montagem do experimento em câmara de fluxo laminar; (b) placas de Petri® incubadas em câmara de crescimento do tipo BOD; (c) marcação do crescimento do patógeno para realização das avaliações diárias.....	26
Figura 4 - Condução do experimento de solubilização de fósforo e potássio: (a) meios de cultura vertidos em tubos de ensaio; (b) inoculação do disco de micélio do isolado no meio de cultura; (c) tubos de ensaio contendo os isolados incubados em câmara de crescimento do tipo BOD.....	28
Figura 5 - Efeito antagonista dos isolados <i>T.sV1</i> , <i>T.sV4</i> , <i>T.bV11</i> , <i>T.hNP1</i> e <i>T.hNP2</i> sobre o crescimento micelial (cm) <i>M. phaseolina</i> , <i>S. sclerotiorum</i> , <i>R. solani</i> e <i>F. tucumaniae</i> . CVs=8,57%; 7,23%; 39,27%, 4,67%, respectivamente.....	30
Figura 6 - Placas do confronto direto, dos isolados <i>T.sV1</i> , <i>T.sV4</i> , <i>T.bV11</i> , <i>T.hNP1</i> e <i>T.hNP2</i> sobre os patógenos: <i>M. phaseolina</i> , <i>S. sclerotiorum</i> , <i>R. solani</i> e <i>F. tucumaniae</i>	33
Figura 7 - Competição por espaço e nutrientes (a), evoluindo para micoparasitismo (b), e verso da placa de cultivo (c) do isolado <i>T.hNP1</i> sobre o fitopatógeno <i>M. phaseolina</i>	34
Figura 8 - Índice de Solubilização (IS) de fósforo dos isolados <i>T.sV1</i> , <i>T.sV4</i> , <i>T.bV11</i> , <i>T.hNP1</i> e <i>T.hNP2</i> , em meio de cultura NBRIP, no decorrer de 24 dias de avaliação. Cv= 73,8%.....	35
Figura 9 - Halo de solubilização de fósforo dos isolados <i>T.sV1</i> , <i>T.sV4</i> , <i>T.bV11</i> , <i>T.hNP1</i> e <i>T.hNP2</i> , em meio de cultura NBRIP, após de vinte e quatro dias de avaliação.....	36
Figura 10 - Índice de Solubilização (IS) de potássio dos isolados <i>T.sV1</i> , <i>T.sV4</i> , <i>T.bV11</i> , <i>T.hNP1</i> e <i>T.hNP2</i> , em meio de cultura Pikovskaya modificado, no decorrer de sete dias de avaliação. Cv= 22,2%.....	37
Figura 11 - Halo de solubilização de potássio dos isolados <i>T.sV1</i> , <i>T.sV4</i> , <i>T.bV11</i> , <i>T.hNP1</i> e <i>T.hNP2</i> , em meio de cultura Pikovskaya modificado, após sete dias de avaliação.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 01- Equação da reta e R^2 ajustado referentes ao crescimento micelial de *Macrophomina phaseolina*, *Sclerotinia Sclerotiorum*, *Rhizoctonia solani*, e *Fusarium tucumaniae*.....30

Tabela 02- Equação da reta e R^2 ajustado referentes ao Índice de Solubilização (IS) de fósforo, em meio de cultura NBRIP, no decorrer de vinte e quatro dias de avaliação.....35

Tabela 03- Equação da reta e R^2 ajustado referentes ao Índice de Solubilização (IS) de potássio, em meio de cultura Pikovskaya modificado, no decorrer de sete dias de avaliação.....37

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ANOVA	Análise de Variância
APP	Área de Preservação Permanente
BDA	Meio de cultivo, batata dextrose e ágar
BOD	Estufa incubadora Demanda Química do Oxigênio
CV	Coeficiente de Variação
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
DOI	Identificador de Objeto Digital
ed	Abreviação de edição
Et al.	Expressão latina "et alii", que significa "e outros"
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IS	Índice de solubilização
N.	Abreviatura de número
pH	Potencial hidrogeniônico
PET	Abreviação de Polietileno Tereftalato
PVC	Policloreto de vinila
spp.	Abreviação de espécies
Vol	Abreviação de volume

LISTA DE SÍMBOLOS

Kg	Unidade de grandeza em massa, quilogramas
°C	Unidade de medição de temperatura, graus célsius
mm	Unidade de medida, milímetros
g	Unidade de massa, gramas
Cm	Unidade de medida em centímetros
mL	Unidade de volume mililitros
S	Coordenada geográfica correspondente ao Sul
W	Coordenada geográfica “West” determina o Oeste
°	Graus
‘	Minutos
“	Segundos
CO²	Gás carbônico
®	Marca Registrada
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. JUSTIFICATIVA.....	9
3. OBJETIVOS.....	10
3.1. Objetivo geral.....	10
3.2. Objetivo específico.....	10
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
4.1. Cultura da soja.....	12
4.2. Fitopatógenos que atingem a cultura.....	13
4.2.1. <i>Fusarium tucumaniae</i>	13
4.2.2. <i>Macrophomina phaseolina</i>	14
4.2.3. <i>Rhizoctonia solani</i>	14
4.2.4. <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	15
4.3. Controle biológico de doenças.....	15
4.4. Gênero <i>Trichoderma</i> spp.....	17
4.4.1. <i>Trichoderma</i> spp. como agente de controle biológico de fitopatógenos.....	17
4.4.2. <i>Trichoderma</i> spp. na solubilização de fósforo.....	18
4.4.3. <i>Trichoderma</i> spp. na solubilização de potássio.....	19
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
5.1. Método de coleta do agente biológico.....	21
5.1.1. Preparação das iscas com <i>Fusarium tucumaniae</i>	21
5.1.2. Implantação das iscas a campo.....	21
5.1.3. Isolamento de <i>Trichoderma</i> spp.....	24
5.2. Identificação das espécies dos agentes encontrados.....	24
5.3. Confronto direto sobre fungos patogênicos.....	25
5.4. Solubilização de fósforo.....	26
5.5. Solubilização de potássio.....	27
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
6.1. Controle de patógenos- Confronto direto.....	29
6.2. Potencial de solubilização.....	34
6.2.1. Solubilização de fósforo.....	34
6.2.2. Solubilização de potássio.....	37
7. CONCLUSÕES.....	40
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
REFERÊNCIAS.....	42

1. INTRODUÇÃO

O Brasil vem se destacando no setor do agronegócio, impactando positivamente na economia do país, principalmente pelo aumento de comercialização e exportação de produtos (SANTOS et al., 2025). Com uma produção diversificada de alimentos, o país é responsável por contribuir para a oferta de alimentos em várias regiões do mundo (BAPTISTA, 2024).

A soja (*Glycine max* L.) é o grão mais produzido no Brasil, representando a principal oleaginosa cultivada e consumida no mundo. Seu produto é muito versátil, tendo benefícios tanto na alimentação humana quanto animal, além de contribuir para a produção de biodiesel. Também exerce papel relevante no aspecto socioeconômico do país (CARVALHO, et al., 2023).

Um dos principais obstáculos da produção da soja são as doenças. Mais de 40 doenças causadas por fungos, bactérias, vírus e nematóides foram identificadas (SEIXAS et al., 2021).

A relevância do manejo de doenças na cultura da soja pode ser observada pelos impactos econômicos causados pelos fitopatógenos sobre a produtividade da cultura. Estudos realizados nos Estados Unidos e no Canadá demonstraram que as doenças na soja ocasionaram redução de aproximadamente 5,4% na produção, resultando em perdas estimadas em US\$ 2,1 bilhões durante a safra avaliada em 2024 (ALLEN et al., 2014). Entre os fungos fitopatogênicos que afetam a cultura estão: *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium tucumaniae*, *Rhizoctonia solani* e *Macrophomina phaseolina*.

O mofo branco, por exemplo, causado pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum*, geralmente inicia sua infecção a partir das pétalas caídas das axilas das folhas e ramos laterais. Seus sintomas incluem manchas aquosas de coloração clara, seguidas pela formação abundante de micélio branco e denso. Nas folhas, observa-se murcha e seca. A podridão vermelha da raiz, causada pelo *Fusarium tucumaniae* inicia-se com uma mancha avermelhada na raiz, que se expande e adquire coloração castanho-avermelhada, quase negra. Na parte aérea, as folhas adquirem coloração amarela entre as nervuras. O *damping-off*, causado pelo fungo *Rhizoctonia solani*, ocorre na fase de plântula, resultando em estrangulamento da haste ao nível do solo, promovendo a murcha e o tombamento da planta. A podridão de carvão da raiz, causada pelo fungo *Macrophomina phaseolina*, ocorre lesões

marrom- avermelhada no colo da planta e nas raízes os tecidos escurecem (HENNING et al., 2014).

O uso de fungicidas na agricultura é um dos principais métodos de controle de doenças, porém está havendo seleção de fungos fitopatogênicos resistentes (GHINI; KIMATI, 2002). Alternativas de controle incluem o uso de microrganismos benéficos, sendo os bioinsumos uma estratégia promissora para o manejo dessas doenças (MEYER et al., 2022).

Isolados de espécies como *Trichoderma atroviride*, *Trichoderma virens*, *Trichoderma asperellum* e *Trichoderma harzianum lato sensu*, são exemplos de fungos capazes de hiperparasitar fungos fitopatogênicos. Eles estabelecem interações benéficas na rizosfera de plantas cultivadas e são utilizados no tratamento de sementes, visando o controle biológico de doenças e promoção do crescimento vegetal (WOO et al., 2014).

Além do papel no biocontrole, espécies de *Trichoderma* também podem contribuir para o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo. Um dos mecanismos envolvidos nesse processo é a solubilização de nutrientes que normalmente se encontram em formas pouco disponíveis, como fósforo e potássio. Esses elementos frequentemente estão associados a minerais ou adsorvidos às partículas do solo, o que limita sua absorção pelas plantas. Microrganismos do solo, incluindo espécies do gênero *Trichoderma*, podem promover a liberação desses nutrientes por meio da produção de ácidos orgânicos e enzimas, favorecendo sua solubilização e disponibilização para as plantas (ANIL; LAKSHMI, 2010).

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo prospectar isolados de *Trichoderma* spp. presentes no solo, avaliando seu potencial de antagonismo frente a fungos fitopatogênicos associados à cultura da soja, bem como sua capacidade de solubilização de nutrientes, especialmente fósforo e potássio.

2. JUSTIFICATIVA

A cultura da soja possui grande importância econômica para o Brasil, porém sua produtividade pode ser comprometida por patógenos habitantes do solo, como *Sclerotinia sclerotiorum*, *Rhizoctonia solani*, *Macrophomina phaseolina* e *Fusarium tucumaniae*. O controle dessas doenças é realizado principalmente por meio de fungicidas, o que pode aumentar os custos de produção e gerar impactos ambientais. Nesse contexto, o uso de microrganismos com potencial de biocontrole, como espécies do gênero *Trichoderma*, destaca-se como uma alternativa sustentável no manejo de fitopatógenos. Além da ação antagonista, esses microrganismos também podem contribuir para a nutrição vegetal por meio da solubilização de nutrientes pouco disponíveis no solo, como fósforo e potássio, favorecendo o desenvolvimento das plantas e reduzindo a dependência de insumos químicos na agricultura.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Realizar a prospecção de microrganismos antagonistas a patógenos radiculares associados à cultura da soja, em duas localidades do estado do Paraná, São João e Nova Prata do Iguaçu. Avaliar o potencial desses microrganismos no biocontrole de patógenos de solo responsáveis por doenças radiculares da soja — *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium tucumaniae*, *Rhizoctonia solani* e *Macrophomina phaseolina*.

3.2. Objetivo específico

- Implantar iscas biológicas em duas localidades do Paraná, São João e Nova Prata do Iguaçu, utilizando arroz inoculado com *Fusarium tucumaniae*, visando atrair microrganismos antagonistas presentes no solo;
- Isolar e obter culturas puras dos microrganismos provenientes das iscas biológicas, utilizando técnicas microbiológicas padrão em meio BDA (Batata Dextrose Ágar);
- Identificar os isolados obtidos em nível de espécie por meio de análise molecular;
- Avaliar a atividade de biocontrole dos isolados frente aos principais fitopatógenos de solo associados à cultura da soja — *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium tucumaniae*, *Rhizoctonia solani* e *Macrophomina phaseolina* — por meio de ensaios de confronto direto em meio BDA, mensurando o crescimento micelial dos patógenos;
- Determinar possíveis mecanismos de ação envolvidos na interação entre os isolados e os fitopatógenos, como antibiose, competição por espaço, competição por nutrientes e micoparasitismo;

- Avaliar a capacidade dos isolados em solubilizar fósforo e potássio em meios de cultura específicos.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Cultura da soja

A soja (*Glycine max* L.) da ordem Fabales, família Fabaceae, Gênero *Glycine* tem sua origem no nordeste da China, onde sua evolução começou com cruzamentos naturais entre duas diferentes sojas selvagens domesticadas. Com excursões dos povos chineses para outros países, ocorreu a disseminação da planta (GAZZONI; DALL'AGNOL, 2018).

No Brasil o primeiro registro da chegada da soja data no ano de 1882. Porém, apenas no ano de 1914, em Santa Rosa, no Rio Grande do Sul, ocorreu o primeiro cultivo comercial da cultura. Em 1941 o Brasil já produzia 457 toneladas de soja, sendo que, na época, ela era utilizada na alimentação de gado leiteiro na forma de feno, posteriormente como alimento energético na engorda de suínos (DALL'AGNOL, 2016).

O primeiro registro de exportação ocorreu em 1949, tendo uma produção de 25.000 toneladas. Durante a década de 1960, o Brasil passou de 206.000 toneladas para 1.056.000 toneladas. Nessa época, o país percebeu o grande potencial produtivo da soja como um produto comercializável (DALL'AGNOL et al., 2007).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023) o Brasil no ano de 2023, teve uma área colhida de 44.447.552 hectares, com a produção de 152.144.238 toneladas. Os estados com maior produção foram Mato Grosso, seguido por Paraná e Goiás. A produção estimada para a safra de 2024 é de 168,3 milhões de toneladas (CONAB, 2024).

Nos últimos 40 anos, a cultura da soja foi a que apresentou o maior crescimento no Brasil (EMBRAPA, 2018), sendo, atualmente, um dos principais produtos exportados. Devido à sua adaptabilidade ao clima, ao solo e ao seu preço de mercado atrativo, visto que a comercialização da safra brasileira acontece durante o período em que os Estados Unidos da América (EUA), o principal concorrente de produção, estão fora da época de colheita (DALL'AGNOL, 2016).

O aumento da população no mundo e a mudança de hábitos alimentares resultaram em um aumento significativo na busca por proteína animal, neste sentido, a soja representa a principal fonte proteica utilizada na alimentação tanto humana

como animal (SEDIYAMA, 2016). Com cerca de 40% de proteína, a cultura é a matéria-prima mais utilizada para a fabricação de farelos destinados à elaboração de rações de animais, além de ser usada como óleo vegetal, biocombustíveis, entre outros usos (DALL'AGNOL et al., 2007).

O progresso contínuo na produção da soja, com cerca de 262 vezes ao longo dos 47 anos, proporcionou uma mudança positiva na agricultura brasileira, modernizando-a, expandindo e valorizando o Brasil no comércio internacional (DALL'AGNOL et al., 2021). Além disso, trouxe benefícios de desenvolvimento econômico- social, gerando lucratividade, emprego, alimento, conhecimento, tecnificação, dentre outros fatores (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014).

4.2. Fitopatógenos que atingem a cultura

4.2.1. *Fusarium tucumaniae*

O grupo *Fusarium* spp. de ampla variedade de espécies, sendo algumas produtoras de micotoxinas que causam doenças tanto em humanos quanto em animais. Outras espécies são comuns em solos e prejudicam partes radiculares de culturas, persistindo no ambiente em forma de clamidósporos ou como hifas. Há também espécies que se disseminam pelo ar, através de conídios (NELSON; TOUSSOUN; MARASAS, 1983).

Na cultura da soja, o fungo *Fusarium tucumaniae*, causador da doença conhecida podridão vermelha provocando sintomas principalmente nas raízes, onde a raiz principal apresenta coloração avermelhada que evolui para tons castanho-avermelhados, podendo tornar-se quase negra. Na haste, logo acima do nível do solo, é possível notar coloração castanho-clara. Nas folhas, surgem sintomas conhecidos como “folhas carijó”, caracterizados por amarelecimento precoce e necrose entre as nervuras. Em casos de maior severidade, pode ocorrer desfolha e abortamento de vagens (HENNING et al., 2005).

O *Fusarium tucumaniae* apresenta características que favorecem sua adaptação e dificultam o controle da doença na cultura da soja. Entre esses fatores destaca-se a presença de ciclo sexual facultativo, que possibilita maior variabilidade genética e aumenta a capacidade de adaptação do patógeno. Essa característica pode favorecer a superação dos mecanismos de resistência da planta hospedeira,

tornando o manejo da doença mais desafiador (CORVET et al., 2007; SCANDIANI et al., 2010).

4.2.2. *Macrophomina phaseolina*

O patógeno *Macrophomina phaseolina* é constituído por apenas uma espécie, pertencente ao filo Ascomycota (MYCOBANK, 1947). As estruturas de resistência denominadas microescleródios, são caracterizadas pela sua coloração negra e superfície lisa Meyer et al. (1974) afirmam que essas estruturas podem sobreviver no solo de dois a quinze anos. As estruturas reprodutivas assexuadas, chamadas de picnídios, possuem tonalidade marrom-escuro (HOLLIDAY; PUNITHALINGAM, 1970), variando de tamanho conforme o meio de crescimento (DHINGRA; SINCLAIR, 1978).

A podridão-de-carvão-da-raiz causada pelo fungo *Macrophomina phaseolina* pode atacar centenas de espécies. Na soja os sintomas variam conforme a idade da planta: na emergência, surgem lesões de tonalidade marrom-escuro na região do colo, sendo profundas, em plantas já desenvolvidas, aparecem sintomas de amarelecimento durante a formação de vagens, seguidos de murcha da planta, tornando-as secas e de coloração marrom-escuro. Nas raízes, observam-se pontuações negras, que correspondem às estruturas de resistências, os microescleródios, com epiderme deteriorada (ALMEIDA et al., 2014).

A doença pode ocorrer com alta severidade e incidência em climas secos e solos compactados, nos quais os sistemas radiculares se desenvolvem de forma mais superficial. Assim a capacidade da planta em absorver água fica limitada, resultando em déficit hídrico (KIMATI et al., 2005).

4.2.3. *Rhizoctonia solani*

O fungo basidiomiceto *Rhizoctonia solani* Kuhn ataca diversas culturas. Na soja, é conhecido por causar o *damping-off* ou tombamento. Suas hifas possuem tons acastanhados (GONZALEZ et al., 2011). Seu micélio é caracterizado pela ramificação em ângulo reto. A fase sexuada deste fungo é *Thanatephorus cucumeris* (BUTLER; BOLKAN, 1973; ANDERSON, 1982; ADAMS, 1988).

O *damping-off* ocorre entre a pré-emergência e até 30-35 dias após a emergência, sob condições de elevada umidade e temperatura. Podendo provocar morte em reboleira em plantas adultas, especialmente em anos de anos com alta pluviosidade e temperaturas amenas. Inicialmente, os seus sintomas são caracterizados por estrias avermelhadas na raiz, que posteriormente coalescem e resultam em podridão seca, de coloração castanho-avermelhada. O estrangulamento no colo da planta, próximo ao nível de solo, é frequente, acarretando em murcha e tombamento (ALMEIDA et al., 2005).

Os principais fatores associados ao tombamento são a presença do inóculo na área, baixa qualidade sanitária e baixa eficiência no tratamento da semente, além do excesso de umidade no solo (NECHET; HALFELD-VIEIRA; MATTIONI, 2007).

4.2.4. *Sclerotinia sclerotiorum*

A doença do mofo-branco, ocasionado pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum*, do filo Ascomycota, apresenta micélios de coloração branca. Sua estrutura de resistência, denominada escleródio, possui coloração escura e podendo permanecer viável em condições desfavoráveis ao crescimento. Em condições ambientais favoráveis os escleródios produzem micélios ou apotécios, destes, são liberados ascósporos, que são disseminados e podendo colonizar mais de 400 espécies de plantas (BOLTON; THOMMA, 2006). Em um período de dois a dezessete dias, os apotécios liberam, em média, trinta milhões de ascósporos (SEIXAS; MAZARO; REY, 2017).

A infecção pode ocorrer em diferentes partes da planta, porém inicia-se frequentemente na inflorescência da cultura da soja, nas axilas das folhas ou dos ramos laterais. Os primeiros sintomas são manchas aquosas, que evoluem para coloração castanho-claro, com formação de micélio branco e denso. Nas folhas, ocorrem sintomas como murcha e seca, os micélios endurecem e formam os escleródios (HENNING et al., 2005).

4.3. Controle biológico de doenças

O controle biológico de doenças, para Cook e Baker (1983), caracteriza-se como sendo “a redução da soma de inóculo ou das atividades determinadas da

doença, provocada por um patógeno, realizada por um ou mais organismos que não o homem”. Neste sentido, trata-se do controle de um organismo por meio de outro (BETTIOL et al., 2022).

Os mecanismos envolvidos no controle biológico de doenças podem ser classificados em diretos e indiretos, dependendo da forma como o microrganismo antagonista atua sobre o fitopatógeno ou sobre a planta hospedeira. Entre os mecanismos diretos destacam-se a antibiose, a competição e o parasitismo (DEKETELAERE et al., 2017). A antibiose refere-se à capacidade de determinados microrganismos produzirem metabólitos com efeito tóxico capazes de inibir o crescimento de patógenos (BETTIOL, 1991). Já a competição ocorre principalmente em ambientes com limitação de nutrientes, nos quais diferentes microrganismos disputam espaço e recursos disponíveis, sendo esse processo mais intenso quando há maior similaridade ecológica entre o agente antagonista e o fitopatógeno (WILSON; LINDOW, 1994). O parasitismo, por sua vez, envolve a ação de microrganismos hiperparasitas que atacam diretamente os patógenos, colonizando suas hifas ou estruturas reprodutivas e reduzindo sua capacidade de desenvolvimento e disseminação (BETTIOL, 1991).

Entre os mecanismos indiretos destacam-se a resistência induzida e a promoção de crescimento vegetal (DEKETELAERE et al., 2017). A resistência induzida caracteriza-se pela capacidade de determinados agentes biológicos em estimular mecanismos de defesa nas plantas, tornando-as mais resistentes à infecção por patógenos (PASCHOLATI; MELO; DALIO, 2015). Esse processo ocorre por meio da ativação de genes de resistência presentes no hospedeiro, resultando na produção de proteínas relacionadas à patogênese, como quitinases e glucanases, além do aumento da atividade de enzimas envolvidas na defesa vegetal, como peroxidase (POD) e fenilalanina amônia-liase (FAL) (BETTIOL, 1991; VINALE et al., 2008). Além disso, alguns microrganismos antagonistas também podem promover o crescimento vegetal, favorecendo o desenvolvimento das plantas e reduzindo os efeitos causados por patógenos, contribuindo para a saúde e equilíbrio do sistema produtivo (DEKETELAERE et al., 2017).

Com o entendimento dos mecanismos de ação dos agentes microbianos, tornam-se viáveis práticas agrícolas alternativas e ecologicamente sustentáveis, atendendo à demanda social de produtos livres de resíduos tóxicos (BETTIOL; MORANDI, 2009).

4.4. Gênero *Trichoderma* spp.

4.4.1. *Trichoderma* spp. como agente de controle biológico de fitopatógenos

O gênero *Trichoderma* pertence à classe Sordariomycetes, do filo Ascomycota. Apresenta facilidade de colonização em diferentes substratos e condições ambientais, o que permite o controle de outros fungos, como *Fusarium tucumaniae*, *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum*, dentre outros, demonstrando eficiente capacidade de biocontrole (MONTE; BETTIOL; HERMOSA, 2019). As principais espécies utilizadas no controle de fungos radiculares são: *Trichoderma viride*, *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma virens*, *Trichoderma harzianum*, etc. (MEYER et al., 2022).

Essas espécies são consideradas oportunistas ambientais, e caracterizam-se por seu rápido crescimento, colonização agressiva, alta capacidade de parasitar ou predação outros fungos, além de promover crescimento vegetal e induzirem a resistência (HARMAN et al., 2004). *Trichoderma* é encontrado em diferentes locais e ecossistemas, com uma vasta linhagem de fungos filamentosos. São, em sua maioria, isolados de solos florestais ou agrícolas, e facilmente cultivados *in vitro*. Sua esporulação é caracterizada pela coloração verde (BROTMAN; KAPUGANTI; VITERBO, 2010).

A primeira publicação feita no Brasil sobre o uso de *Trichoderma* ocorreu em 1950 por Foster, demonstrando que o agente biológico foi capaz de reduzir cerca de 90% a capacidade infectiva do vírus do mosaico do fumo. Contudo, foi apenas em 1987 um produto a base de *Trichoderma* foi comercializado no Brasil, destinado ao controle da doença da macieira, a podridão de raízes e do colo, causada por *Phytophthora cactorum* (VALDEBENITO-SANHUEZA, 1991).

O *Trichoderma* spp. é um dos fungos mais estudados devido à sua capacidade de suprir a severidade de várias doenças. Neste contexto, sua eficácia impulsionou o uso do agente biológico em produtos comerciais (BETTIOL; MORANDI, 2008, FRAVEL 2008). Aplicações de *Trichoderma* em culturas como soja, algodão e feijão têm apresentado ótimos resultados, promovendo maior vigor nas plantas e reduzindo perdas por tombamento causadas por fungos de solo como o *Fusarium tucumaniae* e *Rhizoctonia solani*. Também contribui para a redução da incidência e a severidade de mofo-branco, causado por *Sclerotinia sclerotiorum*,

sendo utilizado de forma preventiva, pois inativa os escleródios, impedindo que produzam esporos para a disseminação da doença (BETTIOL; MORANDI, 2009).

O *Trichoderma harzianum* é capaz de parasitar e destruir micélios de *Rhizoctonia solani*, enquanto o *Trichoderma koningii* demonstrou redução de até 79% no crescimento do fungo patogênico (MELO; FAULL, 2000). Em outro estudo, destacou-se o potencial antagônico do fungo *Trichoderma spp.* sobre a *Macrophomina phaseolina*, diminuindo seu crescimento micelial de 64% a 72%, quando comparado com a testemunha (OLIVEIRA et al., 2021).

Em experimentos em casa de vegetação, a inoculação de *Trichoderma asperellum* UFT 201 em culturas de soja, feijão, caupi, arroz, milho, resultou em um aumento de 60% na biomassa, em comparação à testemunha, evidenciando sua eficiência como promotor de crescimento (CHAGAS et al., 2017).

4.4.2. *Trichoderma* spp. na solubilização de fósforo

O fósforo é um nutriente essencial para as plantas, pois participa da estrutura das células vegetais e está envolvido em diversos processos metabólicos. Além disso atua em mecanismos relacionados à fixação de CO₂ atmosférico e ao metabolismo de açúcares, sendo fundamental para o crescimento e desenvolvimento vegetal (MELO, 2021).

No solo, o fósforo apresenta baixa mobilidade e geralmente encontra-se em pequenas quantidades na solução do solo, forma na qual pode ser absorvido pelas plantas. Grande parte do fósforo presente no solo encontra-se associada a minerais ou adsorvida às partículas do solo, principalmente ligada a compostos de ferro, alumínio ou cálcio, o que reduz sua disponibilidade para as plantas (VAN RAIJ, 1991).

Neste contexto, espécies do gênero *Trichoderma* podem contribuir para o aumento da disponibilidade de fósforo no solo por meio da solubilização de fosfatos insolúveis. Esse processo ocorre principalmente pela produção de ácidos orgânicos e enzimas, que promovem a liberação do fósforo presente em compostos pouco disponíveis (ANIL; LAKSHMI, 2010).

Estudos conduzidos por Ribas et al. (2016) demonstraram que isolados de *Trichoderma* spp. apresentam capacidade de solubilizar fosfato de cálcio em condições *in vitro*. Os autores observaram que esse processo está associado à acidificação do meio de cultivo e à produção de enzimas fosfatases, fatores que contribuem para a liberação do fósforo. Entre os isolados avaliados, *T. asperellum* destacou-se pelo maior potencial de solubilização.

Em experimento conduzido em casa de vegetação com a cultura do arroz, avaliou-se o efeito da inoculação de *Trichoderma* spp. sobre o desenvolvimento das plantas e a disponibilidade de fósforo. Os resultados indicaram que a inoculação favoreceu a solubilização de fósforo no solo, associada à maior produção de ácidos orgânicos. Como consequência, observou-se aumento no crescimento das plantas, com aumento da altura e do perfilhamento. Além disso, a inoculação com *Trichoderma* proporcionou aumento de aproximadamente 18,17% na produtividade do arroz em comparação às plantas não inoculadas (CHUNGOPAST; INTANOO; KHUN-IN, 2023).

4.4.3. *Trichoderma* spp. na solubilização de potássio

O potássio é um macronutriente essencial para as plantas, estando envolvido em diversas reações metabólicas, atuando principalmente como ativador enzimático. Além disso, desempenha papel importante no balanço iônico das células vegetais e na regulação osmótica, participando do controle de abertura e fechamento dos estômatos (BETWELL, 1974; MEYER et al., 1973).

A absorção desse nutriente ocorre quando ele se encontra na forma solúvel na solução do solo. Entretanto, em muitos solos brasileiros sua disponibilidade pode ser limitada, uma vez que o potássio é facilmente lixiviado ao longo do perfil do solo (KINPARA, 2003).

Nesse sentido, microrganismos solubilizadores de potássio podem produzir ácidos orgânicos, os quais atuam na solubilização do potássio presente em formas pouco disponíveis no solo, tornando-o solúvel e, consequentemente absorvível pelas plantas (OLANIYAN et al., 2022).

Em estudo conduzido com a cultura do trigo em solos afetados pela salinidade, verificou-se que a inoculação com microrganismos solubilizadores de potássio, incluindo espécies de *Trichoderma*, associada à aplicação foliar de potássio, favoreceu a solubilização e a maior disponibilidade desse nutriente no solo. Essa associação contribuiu para reduzir os efeitos negativos da salinidade, promovendo melhorias no crescimento das plantas e resultando em aumento na produtividade e na qualidade dos grãos de trigo (El-EGAMI et al. 2024).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Método de coleta do agente biológico

5.1.1. Preparação das iscas com *Fusarium tucumaniae*

Para o isolamento de agentes biológicos presentes no solo foram utilizadas iscas compostas por arroz inoculado com *Fusarium tucumaniae*.

Para a preparação do substrato, utilizou-se 1 kg de arroz, o qual foi hidratado por 30 minutos em uma bandeja plástica contendo 2 litros de água. Após esse período, o excesso de água foi escoado e o arroz foi acondicionado em sacos próprios para autoclavagem, devidamente fechados. Em seguida, os sacos foram submetidos à autoclavagem por duas vezes, durante 20 minutos a 120 °C. A repetição desse processo teve como objetivo eliminar microrganismos contaminantes, especialmente *Bacillus cereus*, bactéria de difícil erradicação.

A inoculação de *Fusarium tucumaniae* foi realizada em câmara de fluxo laminar, a partir de colônias obtidas em placa matriz. Para cada saco contendo arroz foram transferidos 10 discos de micélio, com aproximadamente 7 mm de diâmetro. Após a inoculação, os sacos foram fechados com grampos e incubados em câmara tipo BOD, sob fotoperíodo de 12 horas e temperatura de 25 °C, por aproximadamente sete dias. Durante o período de incubação, o conteúdo dos sacos foi revolvido diariamente, a fim de favorecer a dispersão e o crescimento do fungo em todo o substrato.

Posteriormente, aproximadamente 15 g do arroz colonizado por *Fusarium tucumaniae* foram acondicionados em 30 saquinhos confeccionados com tela de nylon, utilizados como iscas para captura de microrganismos presentes no solo.

5.1.2. Implantação das iscas a campo

As iscas foram levadas a campo e implantadas em áreas de vegetação localizadas nos municípios de São João e Nova Prata do Iguaçu, no estado do Paraná, com o objetivo de aumentar as chances de prospecção de diferentes isolados de *Trichoderma* spp. . As estruturas foram dispostas sobre o solo e cobertas com a serapilheira presente no local. Para facilitar a identificação e posterior coleta, as iscas foram sinalizadas com bandeirinhas numeradas. As mesmas permaneceram no campo por um período de 20 dias.

Adicionalmente, foi utilizado um segundo método de isolamento de microrganismos. Para isso, garrafas PET de 2 litros foram cortadas ao meio no sentido vertical. Em cada metade foram distribuídos aproximadamente 200 g de arroz colonizado por *Fusarium tucumaniae*. As estruturas foram envolvidas com tela de nylon e fixadas com grampos, a fim de garantir sua integridade.

Essas iscas foram instaladas no município de São João, em áreas de vegetação com presença de serapilheira e matéria orgânica, permanecendo no campo por um período de 20 dias.

Quadro 01 - Locais de implantação das iscas na cidade de São João-PR.

Nº	VEGETAÇÃO	COORDENADAS	
		LATITUDE	LONGITUDE
V1	Pinheiro	25°41'08.0"S	52°50'29.5"W
V2	Pitangueira	25°41'02.3"S	52°50'22.8"W
V3	APP	25°41'1.37"S	52°50'24.53"W
V4	APP	25°41'5.52"S	52°50'23.23"W
V5	Pinheiro	25°41'08.4"S	52°50'30.2"W
V6	Bananeira	25°41'03.9"S	52°50'25.7"W
V7	Bambu	25°41'02.8"S	52°50'24.4"W
V8	Pitangueira	25°41'01.7"S	52°50'21.0"W
V9	Bambu	25°40'59.93" S	52°50'21.3"W
V10	Potreiro	25°40'56.51"S	52°50'28.27"W
V11	APP	25°40'51.54"S	52°50'30"W
V12	APP	25°40'57.5"S	52°50'24.06"W
V13	Bananeira	25°41'4.61"S	52°50'23.69"W
V14	Eucalipto	25°41'4.71"S	52°50'18.61"W
V15	APP	25°41'9.47"S	52°50'21.52"W
V16	APP	25°41'10.4"S	52°50'22.95"W
V17	APP	25°41'13.16"S	52°50'24.59"W
V18	APP	25°41'13.31"S	52°50'27.4"W

V19	APP	25°41'02.0"S	52°50'20.9"W
V20	APP	25°41'03.2"S	52°50'20.0"W

Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Quadro 02 - Locais de implantação das iscas na cidade de Nova Prata do Iguaçu.

Nº	VEGETAÇÃO	COORDENADAS	
AMOSTRA		LATITUDE	LONGITUDE
NP1	APP	25°30'00.8"S	53°19'20.5"W
NP2	APP	25°30'01.0"S	53°19'12.9"W
NP3	APP	25°29'59.4"S	53°19'16.4"W
NP4	APP	25°30'00.3"S	53°19'19.8"W
NP5	APP	25°30'03.6"S	53°19'21.9"W
NP6	APP	25°30'05.6"S	53°19'23.6"W
NP7	APP	25°30'07.9"S	53°19'25.6"W
NP8	APP	25°30'09.9"S	53°19'25.1"W
NP9	APP	25°30'11.3"S	53°19'26.3"W
NP10	APP	25°30'09.8"S	53°19'20.1"W

Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Figura 1- Métodos de implantação das iscas em campo: (a) saquinhos confeccionados com tela de nylon contendo arroz colonizado por *Fusarium tucumaniae*; (b) garrafa PET envolta com tela de nylon.



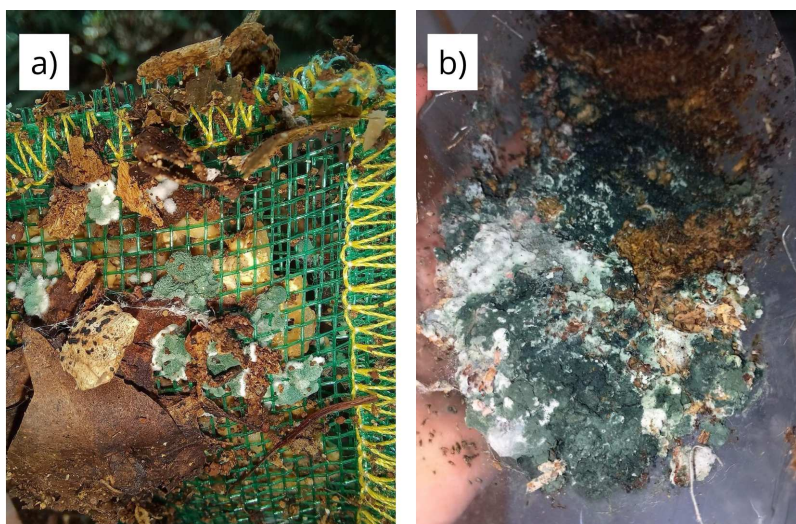
Fonte: Arquivo pessoal (2025)

5.1.3. Isolamento de *Trichoderma* spp.

Após 20 dias de permanência das iscas no solo, realizou-se a retirada das mesmas. Os grãos de arroz que apresentaram coloração esverdeada, indicativa de colonização por fungos do gênero *Trichoderma* spp., foram selecionados, totalizando cinco isolados. Esses materiais foram encaminhados à câmara de fluxo laminar para o processo de isolamento.

Com o auxílio de alça de platina estéril, fragmentos de hifas fúngicas foram repicados para placas de Petri® contendo meio de cultura BDA (Batata-Dextrose-Ágar). As placas foram vedadas com plástico filme de PVC e incubadas em câmara de crescimento do tipo BOD, sob temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas. As culturas foram mantidas nessas condições até a obtenção de colônias puras, por meio de sucessivos repiques.

Figura 2– Iscas biológicas coletadas em campo apresentando colonização por fungos do gênero *Trichoderma*: (a) saquinho de tela de nylon contendo arroz utilizado como isca; (b) material da isca após abertura da garrafa PET.



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

5.2. Identificação das espécies dos agentes encontrados

Foram obtidos cinco isolados do antagonista. Para a identificação molecular das espécies, os isolados foram encaminhados a uma empresa especializada em análises microbiológicas. A identificação foi realizada por meio do método POP#GoG-010, que consiste na identificação de microrganismos através do sequenciamento de DNA (ITS).

Quadro 03 - Identificação dos isolados encontrados

AMOSTRA	ESPÉCIE DO TRICHODERMA
V1	<i>Trichoderma scalesiae</i>
V4	<i>Trichoderma scalesiae</i>
V11	<i>Trichoderma breve</i>
NP1	<i>Trichoderma harzianum</i>
NP2	<i>Trichoderma harzianum</i>

Fonte: Arquivo pessoal (2026)

5.3. Confronto direto sobre fungos patogênicos

Com os agentes biológicos isolados, foi realizado o experimento de confronto direto contra os fungos radiculares *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium tucumaniae*, *Rhizoctonia solani* e *Macrophomina phaseolina*.

Na câmara de fluxo laminar, o experimento foi montado em placas de Petri® de 8,3 cm de diâmetro, vertendo-se 20 mL de meio BDA em cada uma. Após a solidificação do meio, foi colocado um disco de micélio (7 mm de diâmetro) do fungo fitopatogênico em uma extremidade da placa. Na extremidade oposta, foi inserido um disco (também de 7 mm) proveniente do cultivo do agente biológico. Cada disco foi posicionado com pelo menos 1 cm de distância da borda da placa.

Foram realizadas três repetições para cada confronto e três testemunhas contendo somente o fungo fitopatogênico. As placas foram vedadas com plástico filme de PVC e incubadas em BOD a 25 °C, com fotoperíodo de 12 horas.

Com auxílio de uma régua graduada em milímetros, foi realizada a demarcação do crescimento do patógeno nos sentidos vertical e horizontal. As medições foram realizadas diariamente, até que as testemunhas dos fungos fitopatogênicos preencheram totalmente a placa de Petri®. Para calcular o percentual de inibição do crescimento micelial (PIC), foi utilizado a fórmula de Menten et al. (1976) onde:

$$\text{PIC} = \frac{(\text{Crescimento micelial da testemunha} - \text{Crescimento micelial do patógeno})}{\text{Crescimento micelial da testemunha}} \times 100$$

Figura 3- Etapas da condução do ensaio de confronto direto entre microrganismos: (a) montagem do experimento em câmara de fluxo laminar; (b) placas de Petri® incubadas em câmara de crescimento do tipo BOD; (c) marcação do crescimento do patógeno para realização das avaliações diárias.



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

5.4. Solubilização de fósforo

A capacidade de solubilização de fósforo pelos isolados foi avaliada utilizando o meio de cultura NBRIP (National Botanical Research Institute's Phosphate growth medium) modificado, conforme metodologia descrita por Nautiyal (1999).

Para o preparo do meio, foram pesados em balança analítica os seguintes reagentes: 10 g de glicose, 20 g de ágar, 5 g de fosfato de potássio tribásico, 5 g de cloreto de magnésio, 0,5 g de sulfato de magnésio, 0,2 g de cloreto de potássio e 0,1 g de sulfato de amônio. Posteriormente, os reagentes foram dissolvidos em 1 L de água destilada, com ajuste do pH para 7,0. Em seguida, o meio foi submetido à esterilização em autoclave a 120 °C por 20 minutos, com o objetivo de eliminar possíveis microrganismos contaminantes.

Após a esterilização, o meio de cultura foi distribuído, em câmara de fluxo laminar, em tubos de ensaio previamente autoclavados. Os tubos foram vedados com plástico filme de PVC e mantidos em repouso até a completa solidificação do meio. Após o endurecimento, discos de 7 mm de diâmetro dos isolados de *Trichoderma* foram inoculados nos tubos, sendo realizadas três repetições para cada isolado. Como testemunha, foi utilizado o isolado *Trichoderma koningiopsis*, tendo capacidade comprovada de solubilização de fósforo e potássio (Schuster-Russiano, 2024). Posteriormente, os tubos foram vedados com plástico filme de PVC e

incubados em câmara de crescimento do tipo BOD, sob temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas.

A avaliação da solubilização de fósforo foi realizada a cada 48 horas, por meio da mensuração do halo de transparência formado no meio de cultura, indicativo da solubilização do nutriente. As medições foram realizadas com auxílio de régua graduada.

Para o cálculo do índice de solubilização (IS), foi utilizada uma adaptação da metodologia proposta por Barraquero, Baya e Cormenzana (1976), bem como por Chagas Junior et al. (2010). O índice foi obtido pela razão entre o diâmetro do halo de solubilização e o diâmetro da colônia, considerando neste caso o diâmetro interno do tubo de ensaio (1,5 cm).

$$IS = \frac{\text{Diâmetro da zona de solubilização (cm)}}{\text{Diâmetro da colônia (cm)}}$$

5.5. Solubilização de potássio

A avaliação da solubilização de potássio pelos isolados foi realizada conforme metodologia modificada de Velázquez-Gurrola et al. (2015). Para o preparo do meio de cultura, foram pesados em balança analítica os seguintes reagentes: 10 g de glicose; 20 g de ágar; 0,5 g de extrato de levedura; 5 g de nitrato de potássio; 0,1 g de sulfato de magnésio; 0,5 g de Sulfato de amônio; 0,0001 g de Sulfato de ferro; 0,0001 g de Sulfato de manganês; e 0,0026 g de verde de bromocresol. Após a pesagem, os reagentes foram dissolvidos em 1 L de água destilada, sendo o pH ajustado para 7,0. Em seguida, o meio foi esterilizado em autoclave a 120 °C por 20 minutos.

Após a autoclavagem, o meio foi transferido para a câmara de fluxo laminar e vertido em tubos de ensaio previamente esterilizados. Os tubos foram vedados com plástico filme de PVC e mantidos em repouso até a completa solidificação do meio.

Após o endurecimento do meio de cultura, discos de micélio com 7 mm de diâmetro, provenientes dos isolados de *Trichoderma*, foram inoculados nos tubos de ensaio, sendo realizadas três repetições para cada isolado. Como testemunha, foi utilizado o isolado de *Trichoderma koningiopsis* tendo capacidade comprovada de

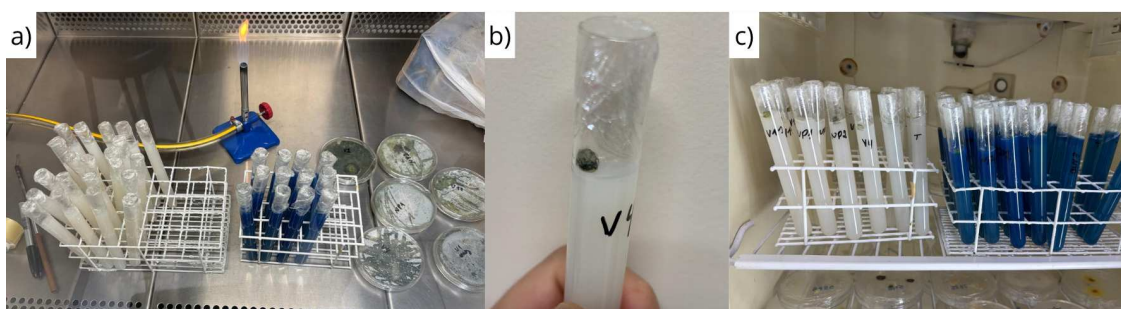
solubilização de fósforo e potássio (Schuster-Russiano, 2024). Posteriormente, os tubos foram vedados com plástico filme de PVC e incubados em câmara de crescimento do tipo BOD, à temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas.

A avaliação da solubilização de potássio foi realizada a cada 24 horas, observando-se a alteração de coloração do meio de cultura, indicada pela mudança da coloração azul promovida pelo indicador verde de bromocresol, característica associada à solubilização do nutriente. As medições do halo formado foram realizadas com auxílio de régua graduada.

Para o cálculo do índice de solubilização (IS), utilizou-se uma adaptação da metodologia proposta por Barraquero, Baya e Cormenzana (1976) e Chagas Junior et al. (2010), sendo o índice obtido pela razão entre o diâmetro do halo de solubilização e o diâmetro da colônia, considerando-se, neste caso, o diâmetro interno do tubo de ensaio (1,5 cm).

$$IS = \frac{\text{Diâmetro da zona de solubilização (cm)}}{\text{Diâmetro da colônia (cm)}}$$

Figura 4- Condução do experimento de solubilização de fósforo e potássio: (a) meios de cultura vertidos em tubos de ensaio; (b) inoculação do disco de micélio do isolado no meio de cultura; (c) tubos de ensaio contendo os isolados incubados em câmara de crescimento do tipo BOD.



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições por tratamento. Inicialmente, os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Em seguida, foi realizada análise de regressão utilizando o software Rbio (BHERING, 2017)

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Controle de patógenos - Confronto direto

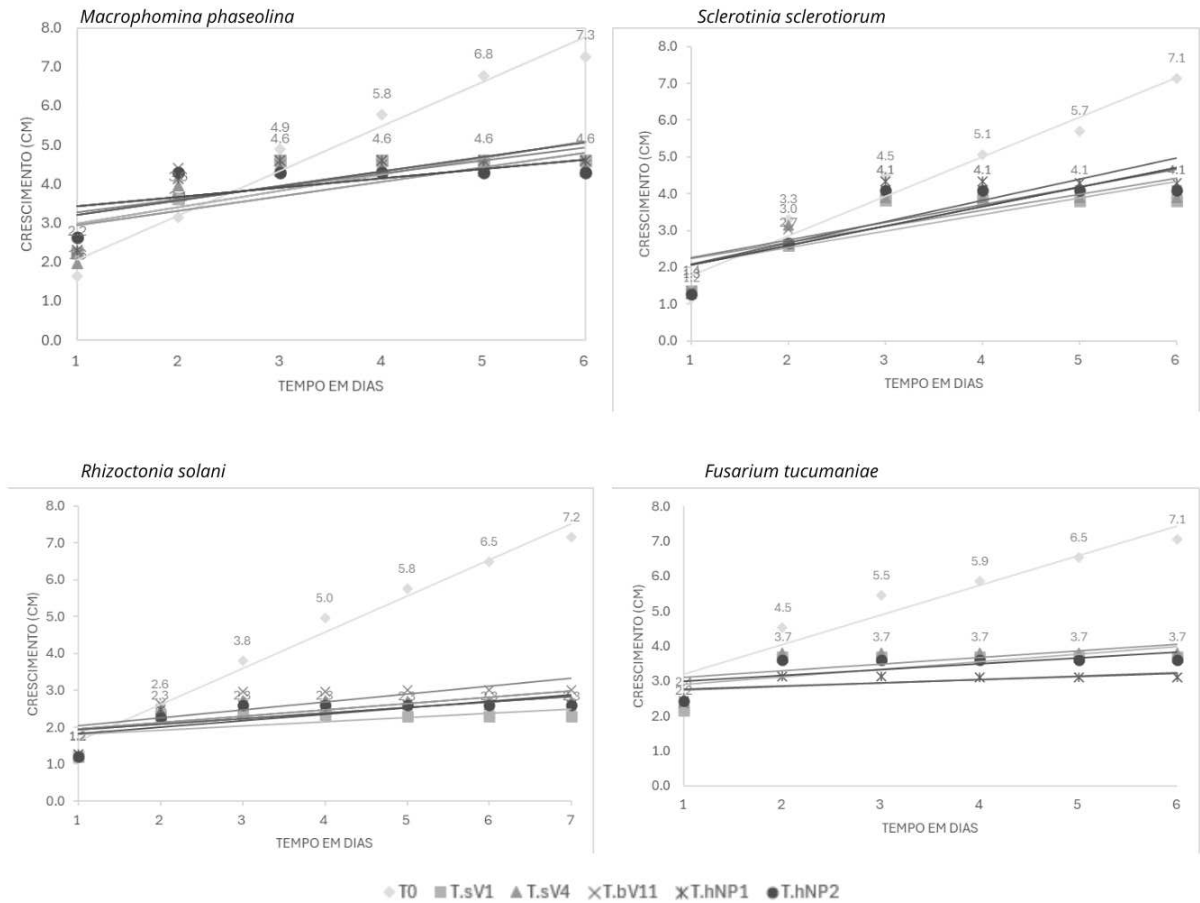
A Figura 5 apresenta o efeito dos isolados de *Trichoderma* spp. sobre o crescimento micelial dos diferentes fitopatógenos avaliados. Para *Macrophomina phaseolina*, os isolados *Trichoderma scalesiae* (T.s V1) e *Trichoderma harzianum* (T.h NP1) promoveram redução de 37% no crescimento micelial em relação à testemunha (T0). Os isolados *Trichoderma scalesiae* (T.s V4) e *Trichoderma harzianum* (T.h NP2) apresentaram redução de 41%, enquanto *Trichoderma breve* (T.b V11) reduziu o crescimento do fitopatógeno em 38%.

No confronto com *Sclerotinia sclerotiorum*, o maior potencial de inibição foi observado para o isolado *Trichoderma scalesiae* (T.s V1), com redução de 46% do crescimento micelial. O isolado *Trichoderma scalesiae* (T.s V4) apresentou redução de 45%, enquanto *Trichoderma breve* (T.b V11) e *Trichoderma harzianum* (T.h NP2) promoveram reduções de 42%. Já o isolado *Trichoderma harzianum* (T.h NP1) apresentou redução de 39% em comparação à testemunha (T0).

Para *Rhizoctonia solani*, verificou-se maior eficiência dos isolados avaliados, destacando-se *Trichoderma scalesiae* (T.s V1), que apresentou redução de 68% no crescimento micelial do fitopatógeno. O isolado *Trichoderma scalesiae* (T.s V4) promoveu redução de 63%, enquanto *Trichoderma breve* (T.b V11) reduziu o crescimento em 58%. Os isolados *Trichoderma harzianum* (T.h NP1) e *Trichoderma harzianum* (T.h NP2) apresentaram redução de 64% em relação à testemunha (T0).

Em relação a *Fusarium tucumaniae*, observou-se que o isolado *Trichoderma scalesiae* (T.s V1) promoveu redução de 48% no crescimento micelial, enquanto *Trichoderma scalesiae* (T.s V4) apresentou redução de 46%. Os isolados *Trichoderma breve* (T.b V11) e *Trichoderma harzianum* (T.h NP1) destacaram-se com redução de 56%, ao passo que *Trichoderma harzianum* (T.h NP2) promoveu redução de 49% quando comparado à testemunha (T0).

Figura 5- Efeito antagonista dos isolados T.sV1, T.sV4, T.bV11, T.hNP1 e T.hNP2 sobre o crescimento micelial (cm) *M. phaseolina*, *S. sclerotiorum*, *R. solani* e *F. tucumaniae*. CVs=8,57%; 7,23%; 39,27%, 4,67%, respectivamente.



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Tabela 01- Equação da reta e R² ajustado referentes ao crescimento micelial de *Macrophomina phaseolina*, *Sclerotinia Sclerotiorum*, *Rhizoctonia solani*, e *Fusarium tucumaniae*.

<i>Macrophomina phaseolina</i>	Equação	R ² ajustado
Testemunha (T0)	y=1.141x+0.9178	0.9641
T.sV1	y=0.421x+2.5711	0.6621
T.sV4	y= 0.369x+ 2.5856	0.5311
T.bV11	y=0.3324x+2.9422	0.4588
T.hNP1	y=0.3686x+2.8489	0.5617
T.hNP2	y=0.2381x+3.1889	0.4286

<i>Sclerotinia Sclerotiorum</i>	Equação	R ² ajustado
Testemunha (T0)	$y=1.0752x+0.7089$	0.9524
T.sV1	$y=0.4505x+1.6289$	0.6773
T.sV4	$y=0.4371x+1.8089$	0.6129
T.bV11	$y=0.4819x+1.78$	0.6553
T.hNP1	$y=0.5762x+1.5111$	0.6914
T.hNP2	$y=0.5276x+1.5422$	0.6912
<i>Rhizoctonia solani</i>	Equação	R ² ajustado
Testemunha (T0)	$y=0.9821x+0.6524$	0.981
T.sV1	$y=0.1143x+1.7$	0.3416
T.sV4	$y=0.1726x+1.7762$	0.4567
T.bV11	$y=0.2131x+1.8381$	0.5147
T.hNP1	$y=0.1524x+1.781$	0.4369
T.hNP2	$y=0.1738x+1.6571$	0.5152
<i>Fusarium tucumaniae</i>	Equação	R ² ajustado
Testemunha (T0)	$y=0.8495x+2.3378$	0.9029
T.sV1	$y=0.219x+2.6778$	0.4286
T.sV4	$y=0.1857x+2.9333$	0.4286
T.bV11	$y=0.101x+2.6356$	0.3828
T.hNP1	$y=0.0914x+2.68$	0.3783
T.hNP2	$y=0.1667x+2.8222$	0.4286

Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Os resultados obtidos no presente estudo comprovam com trabalhos descritos na literatura sobre o potencial antagonista de *Trichoderma* spp. frente a fungos fitopatogênicos. Khalili et al. (2015) observaram que um isolado de *Trichoderma harzianum* promoveu inibição de 72,31% do crescimento micelial de *Macrophomina phaseolina* em ensaios de cultura dupla.

De forma semelhante, Larralde-Corona et al. (2008), ao avaliarem nove isolados de *Trichoderma* spp., verificaram diferenças na capacidade antagonista entre os isolados, destacando espécies como *Trichoderma atroviride*, *Trichoderma*

koningiopsis e *Trichoderma harzianum* pelo elevado potencial de parasitismo sobre *M. phaseolina*. Araujo et al. (2019) também observaram elevada capacidade de inibição de *M. phaseolina* por isolados de *Trichoderma harzianum*, com reduções de 57,3% e 58,7% no crescimento do fitopatógeno.

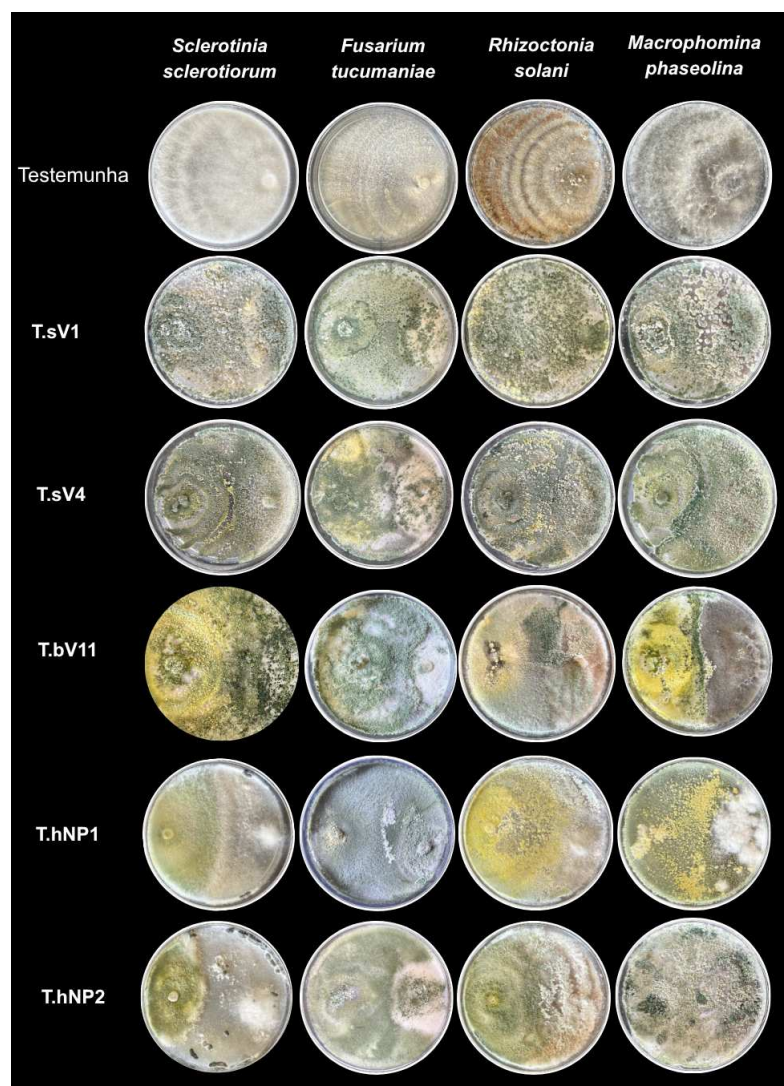
Para *Sclerotinia sclerotiorum*, Silva et al. (2022) verificaram que compostos orgânicos voláteis produzidos por cepas de *Trichoderma* spp. reduziram significativamente o crescimento micelial do patógeno. Os isolados *Trichoderma lentiforme* CMAA 1585 e *Trichoderma asperelloides* CMAA 1584 promoveram reduções de 55% e 53%, respectivamente.

Além disso, Louzada et al. (2009), em ensaios de pareamento de culturas, identificaram 50 isolados de *Trichoderma* spp. com capacidade de inibir o crescimento micelial de *Fusarium solani* e 111 isolados com potencial antagonista frente a *Sclerotinia sclerotiorum*. Singh (1991) também demonstrou o potencial antagonista de *Trichoderma harzianum* sobre *Sclerotinia sclerotiorum*, observando parasitismo do micélio e dos escleródios do fitopatógeno, promovendo sua destruição após 15 dias de incubação.

Em estudo realizado por Olowe et al. (2022), isolados de *Trichoderma* spp. demonstraram elevada atividade antagonista contra *Fusarium solani* em ensaios in vitro, promovendo redução significativa do crescimento micelial do fitopatógeno, com índices de inibição superiores a 70%.

Para *Rhizoctonia solani*, estudos recentes também demonstraram elevado potencial antagonista de *Trichoderma* spp. no controle do fitopatógeno. Zill e Huma et al. (2022) observaram reduções entre 64,5% e 71,8% no crescimento micelial de *Rhizoctonia solani* em ensaios de cultura dupla, destacando-se os isolados *Trichoderma helicum* e *Trichoderma viride*. De maneira semelhante, Ban et al. (2022) verificaram que *Trichoderma harzianum* promoveu redução de até 63,3% no crescimento micelial de *R. solani* em condições laboratoriais.

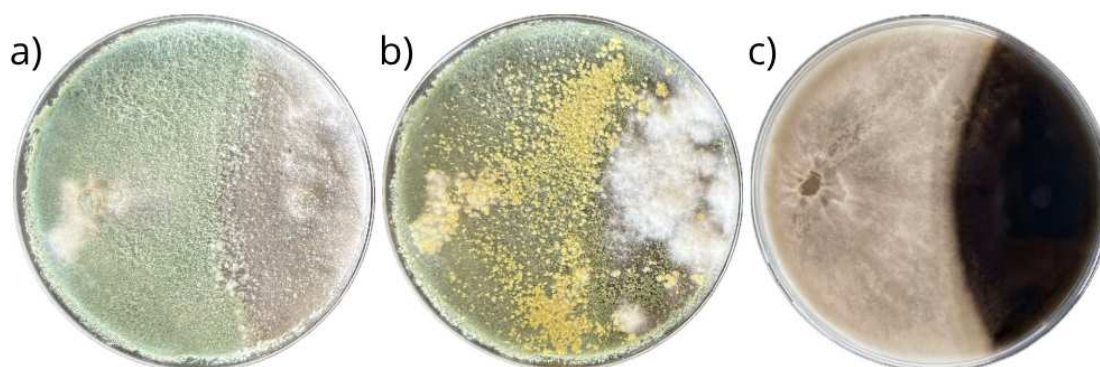
Figura 6- Placas do confronto direto, dos isolados T.sV1, T.sV4, T.bV11, T.hNP1 e T.hNP2 sobre os patógenos: *M. phaseolina*, *S. sclerotiorum*, *R. solani* e *F. tucumaniae*.



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Destaca-se que grande parte dos confrontos apresentou mecanismos de ação relacionados ao micoparasitismo de *Trichoderma* sobre os fitopatógenos avaliados. Na Figura 7, observa-se que, ao término da avaliação do crescimento micelial, enquanto a placa da testemunha encontrava-se totalmente colonizada pelo patógeno, a placa contendo o isolado *Trichoderma harzianum* (T.hNP1) apresentava inicialmente mecanismo de ação caracterizado pela competição por espaço e nutrientes. Posteriormente, verificou-se a ocorrência de outro mecanismo de ação, o micoparasitismo, evidenciado pelo crescimento do agente biológico sobre o fitopatógeno.

Figura 7- Competição por espaço e nutrientes (a), evoluindo para micoparasitismo (b), e verso da placa de cultivo (c) do isolado T.hNP1 sobre o fitopatógeno *M. phaseolina*.



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

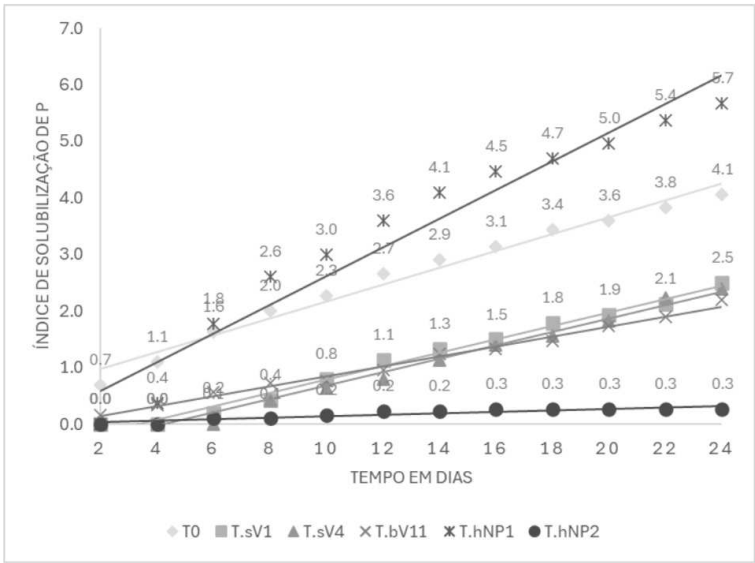
Neste sentido, observa-se que os cinco isolados de *Trichoderma* apresentaram potencial para o controle biológico dos fitopatógenos avaliados, demonstrando diferentes mecanismos de ação, destacando-se a competição por espaço e nutrientes e o micoparasitismo.

6.2. Potencial de solubilização

6.2.1. Solubilização de fósforo

Na avaliação da solubilização de fósforo em meio NBRIP, observou-se que o isolado *Trichoderma harzianum* (T.hNP1) destacou-se por apresentar desempenho superior ao da testemunha *Trichoderma koningiopsis* (T0). Os isolados *Trichoderma scalesiae* (T.s V1), *Trichoderma scalesiae* (T.s V4) e *Trichoderma breve* (T.b V11) apresentaram resultados semelhantes entre si quanto à solubilização de fósforo. Por outro lado, o isolado *Trichoderma harzianum* (T.hNP2) não apresentou solubilização significativa. Esses resultados podem ser observados na Figura 8.

Figura 8- Índice de Solubilização (IS) de fósforo dos isolados T.sV1, T.sV4, T.bV11, T.hNP1 e T.hNP2, em meio de cultura NBRIP, no decorrer de 24 dias de avaliação. Cv= 73,8%.



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Tabela 02- Equação da reta e R² ajustado referentes ao Índice de Solubilização (IS) de fósforo, em meio de cultura NBRIP, no decorrer de vinte e quatro dias de avaliação.

Índice de Solubilização de fósforo	Equação	R² ajustado
Testemunha (T0)	$y=0.1493x+0.6702$	0.9801
T.sV1	$y=0.1188x-0.3975$	0.989
T.sV4	$y=0.1182x-0.501$	0.9807
T.bV11	$y=0.0879x-0.0258$	0.9902
T.hNP1	$y=0.2537x+0.0848$	0.9432
T.hNP2	$y=0.0133x+0.0071$	0.8417

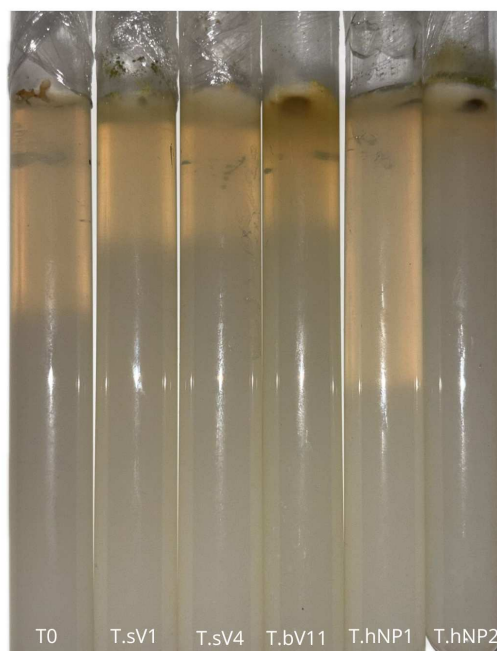
Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Os resultados obtidos no presente estudo corroboram trabalhos descritos na literatura sobre a capacidade de *Trichoderma* spp. em solubilizar fósforo. Galeano et al. (2024), ao caracterizarem 66 isolados de *Trichoderma* spp. provenientes da rizosfera de plantas, verificaram que o isolado *Trichoderma longibrachiatum* (GT-32) apresentou elevada capacidade de promoção de crescimento vegetal, destacando-se pela solubilização de fosfato e produção de ácido indol-3-acético.

Resultados semelhantes também foram relatados por França et al. (2017), que observaram a capacidade de isolados de *Trichoderma* spp., prospectados de solos com cultivo orgânico de tomate, em solubilizar fosfato tricálcico em meio NBRIP, confirmando o potencial do gênero na disponibilização de fósforo para as plantas.

Além disso, Busato et al. (2021) observaram que a inoculação associada de estirpes de *Trichoderma* spp. com fosfato natural promoveu aumento nos teores de ácidos húmicos e fósforo solúvel em ácido cítrico no vermicomposto, evidenciando a contribuição desses microrganismos na dinâmica e disponibilização de nutrientes no solo.

Figura 9- Halo de solubilização de fósforo dos isolados T.sV1, T.sV4, T.bV11, T.hNP1 e T.hNP2 , em meio de cultura NBRIP, após de vinte e quatro dias de avaliação.



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

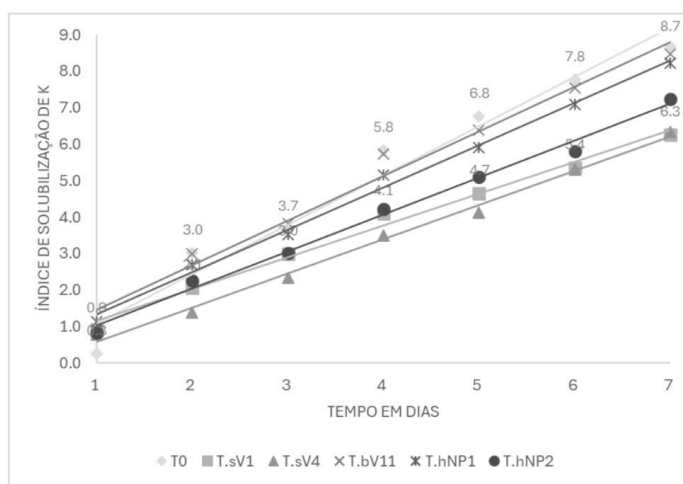
Bononi et al. (2020) relataram que a presença de halo de hidrólise ao redor das colônias de *Trichoderma* spp. em meio sólido NBRIP confirma a capacidade dos isolados em solubilizar fósforo insolúvel presente no meio de cultura.

6.2.2. Solubilização de potássio

Na avaliação da solubilização de potássio em meio de cultura Pikovskaya modificado, observou-se que todos os isolados avaliados, *Trichoderma scalesiae* (T.s V1), *Trichoderma scalesiae* (T.s V4), *Trichoderma breve* (T.b V11), *Trichoderma harzianum* (T.h NP1) e *Trichoderma harzianum* (T.h NP2), apresentaram potencial para solubilização de potássio quando comparados à testemunha *Trichoderma koningiopsis* (T0). Esses resultados podem ser observados na Figura 10.

Figura 10- Índice de Solubilização (IS) de potássio dos isolados T.sV1, T.sV4, T.bV11, T.hNP1 e T.hNP2 , em meio de cultura Pikovskaya modificado, no decorrer de sete dias de avaliação.

Cv= 22,2%



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Tabela 03- Equação da reta e R² ajustado referentes ao Índice de Solubilização (IS) de potássio, em meio de cultura Pikovskaya modificado, no decorrer de sete dias de avaliação.

Índice de Solubilização de potássio	Equação	R ² ajustado
Testemunha (T0)	$y=1.3488x-0.2524$	0.9644
T.sV1	$y=0.8702x+0.2857$	0.9896
T.sV4	$y=0.9357x-0.3429$	0.9941
T.bV11	$y=1.2226x+0.2381$	0.9798
T.hNP1	$y=1.1595x+0.1857$	0.9939
T.hNP2	$y=1.0119x+0.0238$	0.9924

Fonte: Arquivo pessoal (2026)

Os resultados observados no presente estudo estão de acordo com trabalhos descritos na literatura que evidenciam o potencial de *Trichoderma* spp. na disponibilização de potássio para as plantas. Kumari et al. (2023) verificaram que isolados de *Trichoderma* spp., cultivados em meio Alexandrov, apresentaram capacidade de solubilizar potássio proveniente de minerais insolúveis, demonstrando o potencial desse gênero fúngico na promoção do crescimento vegetal.

De maneira semelhante, Yu et al. (2023), ao avaliarem a inoculação de *Trichoderma longibrachiatum* em mudas de *Pinus massoniana* submetidas ao estresse hídrico, observaram melhorias no desenvolvimento das plantas e maiores teores de fósforo, potássio e nitrogênio. Além disso, diferentes estudos também relatam a capacidade de espécies de *Trichoderma* em promover a solubilização de potássio e favorecer a disponibilidade desse nutriente no solo (CHEN et al., 2021; CHUNGOPASTA et al., 2023; ISWATI et al., 2024).

Figura 11- Halo de solubilização de potássio dos isolados T.sV1, T.sV4, T.bV11, T.hNP1 e T.hNP2, em meio de cultura Pikovskaya modificado, após sete dias de avaliação.



Fonte: Arquivo pessoal (2026)

A formação do halo amarelado ao redor das colônias indica a capacidade de solubilização promovida pelos isolados no meio de cultura. Além disso, a alteração do pH do meio, variando entre 3,7 e 5,5, é evidenciada pela mudança de coloração

do indicador Verde de Bromocresol, decorrente da liberação de ácidos orgânicos, pelos microrganismos. Esse processo promove a acidificação do meio, favorecendo o aumento da solubilização de potássio (PRAJAPATI et al., 2012).

7. CONCLUSÕES

Foram prospectados e isolados cinco isolados pertencentes ao gênero *Trichoderma*, obtidos a partir das iscas biológicas implantadas em áreas de vegetação dos municípios de São João e Nova Prata do Iguaçu, PR. A identificação molecular permitiu classificar os isolados como *Trichoderma scalesiae* (*T.s* V1 e *T.s* V4), *Trichoderma breve* (*T.b* V11) e *Trichoderma harzianum* (*T.h* NP1 e *T.h* NP2).

Após a identificação, os isolados foram avaliados quanto ao potencial antagonista frente aos fitopatógenos *Macrophomina phaseolina*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Rhizoctonia solani* e *Fusarium tucumaniae*. Durante os ensaios de confronto direto, observou-se a atuação de mecanismos de ação característicos de *Trichoderma* spp., principalmente a competição por espaço e nutrientes e o micoparasitismo, contribuindo para a redução do crescimento micelial dos fitopatógenos avaliados.

Além da atividade antagonista, os isolados demonstraram capacidade de solubilização de fósforo e potássio em condições *in vitro*, indicando potencial de atuação também na promoção da disponibilidade de nutrientes.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como perspectiva para futuros estudos, recomenda-se a partir dos isolados desenvolver formulações de produtos, e então realizar avaliações em condições de estufa e a campo, visando validar a eficiência dos isolados prospectados de *Trichoderma* spp. no controle biológico de doenças radiculares em diferentes condições ambientais e sistemas de cultivo.

Também, sugere-se avaliar o potencial de espécies de *Trichoderma* no controle de nematóides fitopatogênicos, como *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus brachyurus*, evidenciando novas possibilidades de utilização desses microrganismos no manejo sustentável na cultura da soja.

Ainda, deve ser considerado o desenvolvimento de estudos que busquem avaliar a capacidade desses isolados em promover a indução de resistência em plantas de soja, ativando mecanismos naturais de defesa da cultura.

REFERÊNCIAS

ADAMS, G.C. *Thanatephorus cucumeris* (*Rhizoctonia solani*), a species complex of wide host range. **Advances in Plant Pathology**, London, v.6, p.535-552, 1988.

ALLEN, T.; MUELLER, D.; SISSON, A.; SIKORA, E.; FASKE, T.; SPURLOCK, T.; BETTS, A.; DUFAULT, N.; GRABAU, Z.; KEMERAIT, B.; CAMILETTI, B.; TELENKO, D.; ONOFRE, R.; BRADLEY, C.; PADGETT, B.; PRICE, T.; WATSON, T.; CHILVERS, M.; MALVICK, D.; BISH, M.; MANGEL, D.; BERGSTROM, G.; LUX, L.; MATHEW, F.; WEBSTER, W.; LOPEZ-NICORA, H.; DUFFECK, M.; TENUTA, A.; COLLINS, A.; ESKER, P.; MUELLER, J.; PLUMBLEE, M.; SHIRES, M.; KELLY, H.; ISAKEIT, T.; LANGSTON, D.; ZENG, Y.; SMITH, D. 2025. **Estimativas de perdas por doenças na soja nos Estados Unidos e em Ontário, Canadá.** — 2024. Rede de Proteção de Cultivos. CPN-1018-24. doi.org/10.31274/cpn-20250317-1

ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T.; SILVA, J. F. V.; HENNING, A. A.; GODOY, C.V.; COSTAMILAN, L. M.; MEYER, M. C. Doenças da soja (*glycine max*). IN: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**, 4. ed. São Paulo: Ceres, 2005. p. 569-588.

ALMEIDA, A. M. R.; Seixas, C. D. S.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. N. D.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; COSTA, J. M. D.; GAUDÊNCIO, C. A. *Macrophomina phaseolina* em soja. **Embrapa Soja-Documents** (INFOTECA-E), 2014.

ANDERSON, N.A. The genetics and pathology of *Rhizoctonia solani*. **Phytopathology**, St. Paul, v.20, p.329-344, 1982.

ANIL K, LAKSHMI T. **Phosphate solubilization potential and phosphatase activity of rhizospheric trichoderma spp.** Braz J Microbiol. 2010 Jul;41(3):787-95. doi: 10.1590/S1517-83822010005000031. Epub 2010 Sep 1. PMID: 24031556; PMCID: PMC3768635.

ARAUJO, A. S.; BLUM, L. E. B.; FIGUEIREDO, C. C. (2019). Biochar and *Trichoderma harzianum* for the Control of *Macrophomina phaseolina*. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 62, e19180259. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2019180259>.

BAN, G; AKANDA, S; MAINO, M. Eficácia de *Trichoderma harzianum* contra *Fusarium oxysporum* e *Rhizoctonia solani* em plantas de feijão e tomate. **Annals of Tropical Research**, [S. l.], v. 44, n. 1, p. 30–45, 2022. DOI: 10.32945/atrr4413.2022. Disponível em: <https://atr.vsu.edu.ph/article/view/55>. Acesso em: 17 maio de 2026.

BAPTISTA, I. C. M.. **A importância do Brasil na produção de alimentos para suprir a demanda mundial**. Perspectivas atuais da sustentabilidade cenários internacional e brasileiro, p. 63.

BETTIOL, W. & MORANDI, M.A.B. **Trichoderma in Brazil**: history, research, commercialization and perspectives Proceedings, Xth Meeting of the Working Group - Biological Control of Fungal and Bacterial Plant Pathogens: Molecular Tools for Understanding and Improving Biocontrol, Interlaken, Switzerland. 2008. p. 49.

BETTIOL, W. Componentes do controle biológico de doenças de plantas. In: BETTIOL, W. (Ed.). Controle biológico de doenças de plantas. Jaguariúna: **Embrapa-CNPDA**, 1991. p1-5.

BETTIOL, W. Controle biológico de doenças de plantas. Jaguariúna: **EMBRAPA-CNPDA**, 1991. 388 p. (EMBRAPA-CNPDA. Documentos, 15)

BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 2009. 341 p.

BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B.; PINTO, Z. V.; LUCON, C. M. M.. Controle de qualidade e conformidade de produtos e fermentados à base de *Bacillus spp.*: proposta metodológica. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 2022. 15 p.

BHERING, L.L. Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. Crop Breeding and Applied Biotechnology, v.17: 187-190p, 2017.

BIDWELL, R. G. S. **Plant physiology**. Nova Iorque: MacMillan, 1974. 643 p.

BOLTON, M. D.; THOMMA, B. P. H. J. Sclerotinia sclerotiorum (Lib) de bary: biology and molecular traits of a cosmopolitan pathogen. **Mol Plant Pathol**, 1:1-6. 2006.

BONONI, L., CHIARAMONTE, JB, PANSA, CC *et al.* *Trichoderma spp.* solubilizadores de fósforo de solos amazônicos melhoram o crescimento da soja. **Sci Rep** 10 , 2858 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59793-8>.

BROTMAN, Y.; KAPUGANTI, J. G.; VITERBO, A. **Trichoderma**. **Current Biology**, v. 20, n. 9, p. R390-R391, 2010.

BUSATO, J.G., FERRARI, L.H., CHAGAS JUNIOR, A.F., DA SILVA, D.B., DOS SANTOS PEREIRA. T., DE PAULA, A.M. *Trichoderma* strains accelerate maturation and increase available phosphorus during vermicomposting enriched with rock phosphate. **J Appl Microbiol**. 2021 Apr;130(4):1208-1216. doi: 10.1111/jam.14847. Epub 2020 Sep 24. PMID: 32916018.

BUTLER, E.E; BOLKAN, H. A medium for heterokaryon formation in *Rhizoctonia solani*. **Phytopathology**, St. Paul, v.63, p.542-543, 1973.

CARVALHO, N. S.; RODRIGUES, E. B. S.; SANTANA, T. S.; CANTANHEDE, L. A.; SOUSA, G. M.; SOUSA, R. A.; SILVA FILHO, F. M.; MATOS, R. R. S. S. Revisão: **A**

importância da soja para o agronegócio brasileiro. 2023. DOI: 10.22533/at.ed.6252331036.

CHAGAS, L. F. B.; CHAGAS JÚNIOR, A. F.; SOARES, L. P.; FIDELIS, R. R. **Trichoderma na promoção do crescimento vegetal.** *revista de agricultura neotropical*, [S. l.], v. 3, pág. 97–102, 2017. DOI: 10.32404/rean.v4i3.1529. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/1529>. Acesso em: 18 maio. 2025.

CHEN, D.; HOU, Q.; JIA, L.; SUN, K. Combined use of two *Trichoderma* strains to promote growth of pakchoi (*Brassica chinensis* L.). *Agronomy*, v. 11, n. 4, p. 726, 2021.

CHUNGOPAST, S.; INTANOO, W.; KHUN-IN, A. Solubilization by nematode-controlling *Trichoderma* of nutrients to promote rice growth, yield and phosphorus content. **Agriculture and Natural Resources**, v. 57, n. 4, p. 667–676, 2023.

CONAB – Companhia nacional de abastecimento. **Safra de grãos está estimada em 332,9 milhões de toneladas, influenciada por boa produção de soja, milho e arroz.** Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/safra-de-graos-esta-estimada-em-332-9-milhoes-de-toneladas-influenciada-por-bou-producao-de-soja-milho-e-arroz>. Acesso em: 16 maio 2025.

COOK, R. J.; BAKER, K. F. The nature and practice of biological control of plant pathogens. St. Paul, **American Phytopathological Society**, 1983. p. 539.

CORVET, S. F.; AOKI, T.; O'DONNELL, K.; STARKEY, D.; HOLLIDAY, A.; GEISR, D. M.; YANG, X. B. Sexual reproduction in the soybean sudden death syndrome pathogen *Fusarium tucumaniae*. **Fungal Genetics and Biology**, v. 44, n. 8, p. 799-807, 2007.

DALL'AGNOL, A. A Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições. Brasília, DF: **Embrapa**, 2016.

DALL'AGNOL, A.; OLIVEIRA, A. B.; LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. **Importância socioeconômica da soja.** Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica-da-soja>. Acesso em: 12 maio 2025.

DALL'AGNOL, A.; ROESSING, A. C.; LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H.; OLIVEIRA, A. D. O complexo agroindustrial da soja brasileira. **Embrapa Soja Circular Técnica** (INFOTECA-E), 2007.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Foi utilizada a ferramenta de inteligência artificial ChatGPT/OpenAI como apoio na revisão textual e organização estrutural do trabalho.

DEKETELAERE, S., TYVAERT, L., FRANÇA, S.C., HÖFTE, M. **Desirable Traits of a Good Biocontrol Agent against Verticillium Wilt. Front Microbiol.** 2017;8:1186. Published 2017 Jul 6. doi:10.3389/fmicb.2017.01186.

DHINGRA, O.D.; SINCLAIR, J.B. **Biology and pathology of *Macrophomina phaseolina***. Viçosa: UFV, 1978. 166 p.

EI-EGAMI, HM; HEGAB, RH; MONTASER, H.; EI-HAWARY, MM; HASANUZZAMAN, M. **Impacto de microrganismos solubilizadores de potássio com fontes de potássio no crescimento, fisiologia e produtividade da cultura do trigo em condições de solo afetadas por salinidade.** Agronomy 2024 , 14 , 423. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030423>

EMBRAPA SOJA. **Embrapa Soja: inovação, tecnologia, resultados.** Londrina, 2018. Disponível em <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1092757/1/FolderinstitucionalEmbrapaSojaCBSOJA2018.pdf>. Acesso em: 12 maio 2025.

FOSTER, R. **Inativação do vírus do mosaico comum do fumo pelo filtrado de culturas de *Trichoderma sp.*** Bragantia 10: 139-148. 1950.

FRANÇA, D.V.C; KUPPER, K.C; MAGRI, M.M.R; GOMES, T.M.; ROSSI, F. ***Trichoderma spp.* isolates with potential of phosphate solubilization and growth promotion in cherry tomato.** Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 47, n. 4, p. 360-368, Oct./Dec. 2017.

FRAVEL, D. Commercialization of biocontrol agents for use against plant pathogens. **Summa Phytopathologica** 34: 193. 2008. (Resumo).

GALEANO, R.M. S. **Isolamento, caracterização bioquímica e potencial de *Trichoderma spp.* para promoção de crescimento da soja.** 2024.

GAZZONI, D. L.; DALL'AGNOL, A. A saga da soja: de 1050 aC a 2050 dC. **Embrapa Soja-Livro científico (ALICE)**, 2018.

GHINI, R.; KIMATI, H. Resistência de fungos a fungicidas. Jaguariúna, SP: **Embrapa Meio Ambiente**, 2002. 78 p. il. 22 cm. ISBN 85-85771-10-0.

GONZALEZ, M.; PUJOL, M.; METRAUX, J. P.; GONZALEZ-GARCIA, V.; BOLTO, M. D.; BORRÁS-HIDALGO, O. Tobacco leaf spot and root rot caused by *Rhizoctonia solani* Kühn. **Molecular plant pathology**, v. 12, n. 3, p. 209-216, 2011.

HARMAN, G. E.; HOWELL, C. R.; VITERBO, A.; CHET, I.; LORITO, M. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Reviews Microbiology**, v. 2, n. 1, p. 43, 2004.

HENNING A.A., ALMEIDA, M.R.A., GODOY, C.V., SEIXAS, C.D.S., YORINORI, J.T., COSTAMILAN, L.M., FERREIRA, L.P., MEYER, M.C., SOARES, R.M., DIAS, W.P. Manual de identificação de doenças da soja, **Embrapa Soja**, Londrina, PR, 2005. ISSN 1516-781X.

HIRAKURI, Marcelo Hiroshi.; LAZZAROTTO, Joelsio José. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. **Embrapa Soja-Documentos** (INFOTECA-E), 2014.

HOLLIDAY, P.; PUNITHALINGAN, E. *Macrophomina phaseolina*. **CMI Descriptions of Pathogenic Fungi and Bacteria**, n. 275, 1970. 2 p

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção agropecuária: soja. Rio de Janeiro, 2025**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/soja/br>. Acesso em: 16 maio 2025.

ISWATI, R.; et al. Exploration and characterization of *Trichoderma* spp. indigenous species as an antagonist of *Rhizoctonia solani* and a growth promoter of corn plants. **Biodiversities**. 25 : 1375-1385 .2024.

KHALILI, E., JAVED, M. A., HUYOP, F., RAYATPANAH, S., JAMSHIDI, S., & WAHAB, R. A. (2016). Evaluation of *Trichoderma* isolates as potential biological control agent against soybean charcoal rot disease caused by *Macrophomina phaseolina*. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, 30(3), 479–488. <https://doi.org/10.1080/13102818.2016.1147334>

KIMATI, H., AMORIM, L., BERGAMIM, F. A.; REZENDE, J. A. M.; CAMARGO, L. **Manual de fitopatologia**. 4 ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2005.

KINPARA, D. I. **A importância estratégica do potássio para o Brasil**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 27 p.

KUMARI, M. D. H. M. et al. Potassium solubilizers, *Aspergillus* sp. and *Trichoderma* sp. promote growth in tomato. Proceedings of International Forestry and Environment Symposium, v. 27, 2023. <https://doi.org/10.31357/fesympo.v27.7165>.

LANNA FILHO, Roberto; FERRO, Henrique Monteiro; PINHO, Renata Silva Canuto de. Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*. Revista Trópica - **Ciências agrárias e biológicas**, v. 4, n. 2, 27 Set 2010 Disponível em: <https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/ccaatropica/article/view/145>. Acesso em: 21 mai 2025.

LARRALDE-CORONA, C.P.; SANTIAGO-MENA, M.R.; SIFUENTES-RINCÓN, A.M.; RODRÍGUEZ-LUNA, I.C.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, M.A.; SHIRAI, K.; NARVÁEZ-ZAPATA, J. A. Biocontrol potential and polyphasic characterization of novel native *Trichoderma* strains against *Macrophomina phaseolina* isolated from sorghum and common bean. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Münster, v.80, p.167-177, 2008.

LOUZADA, G.A.S.; CARVALHO, D.D.C.; MELLO, S.C.M.; LOBO JUNIOR, M.; MARTINS, I.; BRAUNA, L.M. **Potencial antagônico de *Trichoderma* spp. originários de diferentes agroecossistemas contra *Sclerotinia sclerotiorum* e *Fusarium solani***. Biotaneotropica, São Paulo, v.9, n.3, p.145-149, 2009.

MELO, I. S.; FAULL, J. L. Parasitismo de *Rhizoctonia solani* por linhagens de *Trichoderma* spp.. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 1, p. 45–52, 2000.

MELO, G.W.B. **EMBRAPA**. Nutrientes. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/uva-para-processamento/producao/solo-e-adubacao/nutrientes>. Acesso em: 15 abr. 2026.

MENTEN, J. O. M.; MACHADO, C. C.; MINUSSI, E.; CASTRO, C.; KIMATI, H. Efeito de alguns fungicidas no crescimento micelial de *Macrophomina phaseolina* (Tass.) Goid. “in vitro”. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 57-66, 1976

MEYER, B. S.; ANDERSON, D. B.; BOHNING, R.H.; FRATIANNE, D. C. **Introduction to plant physiology**. 2. ed. Nova Iorque: D. Van Nostrand, 1973.

MEYER, M. C.; BUENO, A. F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. . Bioinsumos na cultura da soja. Brasília, DF: **Embrapa**, 2022.

MEYER, W. A.; SINCLAIR, J. B.; KHARE, M. N. Factors affecting Charcoal rot of soybean seedlings. **Phytopathology**, v. 64, p. 845-849, 1974.

MONTE, E., BETTIOL, W., HERMOSA, R. *Trichoderma* e seus mecanismos de ação para o controle de doenças em plantas. In MEYER, M.C., MAZARO, S.M., SILVA, J.C. *Trichoderma* uso da agricultura. Brasília, DF: **Embrapa**, 2019.

MYCOBANK. **Macrophomina phaseolina**. Disponível em: <https://www.mycobank.org/page/Name%20details%20page/name/macrophomina%20phaseolina>. Acesso em: 19 de maio de 2025.

NAUTIYAL, C.S. An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS microbiology Letters*, 1999. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1999.tb13383.x>

NECHET, K. L.; HALFELD-VIEIRA, B. A.; MATTIONI, J. A. M. Sintomas e práticas de controle das doenças fúngicas da soja em Roraima. Boa Vista: **Embrapa Roraima**, 2007. (Embrapa Roraima. Documentos, 11).

NELSON, P.E. T.A. TOUSSON; W.F.O. MARASAS. 1983. **Fusarium species: an illustrated manual for identification**. The Pennsylvania State University Press, University Park. 193p.

OLANIYAN, F.T.; ALORI, E.T.; ADEKIYA, A.O. *et al.* **O uso de solubilizadores microbianos de potássio no solo na disponibilidade de nutrientes de potássio no solo e sua dinâmica**. *Ann Microbiol* 72 , 45 (2022). <https://doi.org/10.1186/s13213-022-01701-8>

OLIVEIRA, L. G.; KETTNER, M. G.; LIMA, M. L. S.; ARAÚJO, E. R.; SILVA, A. R.; COSTA, A. F. Potencial de biocontrole *Trichoderma* spp. contra *Macrophomina phaseolina* de feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, v. 26, n. 2, p. 5, 2021.

LOWE OM, NICOLA L, ASEMOLOYE MD, AKANMU AO, SOBOWALE AA AND BABALOLA OO (2022) **Characterization and antagonistic potentials of selected rhizosphere *Trichoderma* species against some *Fusarium* species**. Front. Microbiol. 13:985874. doi: 10.3389/fmicb.2022.985874.

PASCHOLATI, S. F.; MELO, T. A.; DALIO, R. J. D. **Indução de resistência contra patógenos: definição e perspectivas de uso**. Visão Agrícola, n. 13, p. 110–112, 2015.

PRAJAPATI, K., SHARMA, M. C., MODI, H. A. Isolation of two potassium solubilizing fungi from ceramic indus try soils. **Life Science Leaflets**, India, v.5, p.71-75, 2012.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343p.

RIBAS, P. P.; RECH, R.; MATSUMURA, A. T. S.; VAN DER SAND, S. T. **Potencial in vitro para solubilização de fosfato por *Trichoderma* spp.** Revista Brasileira de Biociências, [S. l.], v. 14, n. 2, 2016. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/rbrasbioci/article/view/114682>. Acesso em: 15 abr. 2026.

SANTOS, J. C.; DUARTE, L. B.; SOSSA, C. O.; BELMIRO, M. O. M. **A Evolução do Agronegócio Brasileiro e sua Inserção no Mercado Internacional**. Revista de Empreendedorismo e Gestão de Micro e Pequenas Empresas, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 45–68, 2025. DOI: 10.29327/237867.10.1-2. Disponível em: <https://revistas.editoraenterprising.net/index.php/regmpe/article/view/857>. Acesso em: 31 maio. 2025.

SCANDIANI, M. M.; AOKI, T.; LUQUE, A. G.; CARMONA, M. A.; O'DONNELL, K. First report of sexual reproduction by the soybean sudden death syndrome pathogen *Fusarium tucumaniae* in nature. Plant disease, v. 94, n. 12, p. 1411-1416, 2010.

SCHUSTER-RUSSIANO, M, C. **Prospecção de isolados de *Trichoderma* spp. com potencial de biocontrole, bioestimulo, indução de resistência e solubilização de nutrientes para cultura da soja**. Repositório UTFPR. 2024.

SEDIYAMA, T. **Produtividade da soja**. Londrina: Ed. Mecenass, 2016.

SEIXAS, C. D. S., MAZARO, S. M., REY, M. S. **Sistemas de produção de soja orgânica**. In Mazaro, S. M. Porto Alegre RS, Editora cinco continentes, 2017.

SEIXAS, C. D. S.; DIAS, W. P.; HENNING, A. A.; ALMEIDA, Á. M. R.; GODOY, C. V.; SOARES, R. M.; COSTAMILAN, L. M. Doenças da soja. **Embrapa**, 08 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/producao/doencas-da-soja>. Acesso em: 31 de Maio de 2025.

SILVA LG, CAMARGO RC, MASCARIN GM, NUNES PSO, DUNLAP C AND BETTIOL W (2022). **Dual functionality of *Trichoderma*: Biocontrol of *Sclerotinia sclerotiorum* and biostimulant of cotton plants**. Front. Plant Sci. 13:983127. doi: 10.3389/fpls.2022.983127

SINGH, D. (1991). Biocontrole de *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary por *Trichoderma harzianum*. **Tropical Pest Management**, 37 (4), 374–378.
<https://doi.org/10.1080/09670879109371617>.

VALDEBENITO-SANHUEZA, R.M. Possibilidades do controle biológico de *Phytophthora* em macieira. In: Bettiol, W. (Ed.) Controle Biológico de Doenças de Plantas. Jaguariúna. **Embrapa CNPMA**. 1991. pp. 303-305.

VELÁZQUEZ-GURROLA, A., RAMOS-ALEGRÍA, M.P. Beneficios de microorganismos solubilizadores de P y K en la recuperación y mantenimiento de suelos agrícolas. Lima, Peru, ProHass, 2015. pp 495-499.

VINALE, F.; SIVASITHAMPARAM, K.; MARRA, R.; LORITO, M. *Trichoderma* - interações planta-patógeno. **Soil Biol. Biochem.** V 40, p. 1–10. 2008.

WILSON, M.; LINDOW, S. E. Ecological similarity and coexistence of epiphytic ice-nucleating (ICE+) *Pseudomonas syringae* strains and non-ice-nucleating (ICE-) biological control agents. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.60, p.3128-3137, 1994a.

WOO, S. L.; RUOCCO, M.; VINALE, F.; NIGRO, M.; MARRA, R.; LOMBARDI, N.; LORITO, M. *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture. **The Open Mycology Journal**, v. 8, n. 1, 2014.

YU, C.; JIANG, X.; XU, H.; DING, G. *Trichoderma longibrachiatum* inoculation improves drought resistance and growth of *Pinus massoniana* seedlings through regulating physiological responses and soil microbial community. **Journal of Fungi**, v. 9, n. 7, p. 694, 2023.

ZILL; HUMA. *Efficacy of biocontrol agent (BCA) Trichoderma spp.* against black scurf disease (*Rhizoctonia solani*) of potato. **Plant Bulletin**, v. 1, n. 1, p. 1-7, 2022.
 10.55627/pbulletin.001.01.0126 .