



MAIARA DA SILVA FREITAS

**USO DE MICRORGANISMOS E METABÓLITOS NO
DESEMPENHO DO FEIJOEIRO COMUM E NO
CONTROLE DO TOMBAMENTO (*Rhizoctonia solani*)**

**LAVRAS - MG
2022**

MAIARA DA SILVA FREITAS

**USO DE MICRORGANISMOS E METABÓLITOS NO DESEMPENHO DO
FEIJOEIRO COMUM E NO CONTROLE DO TOMBAMENTO (*Rhizoctonia
solani*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Programa de
Pós Graduação em Agronomia/ Fitopatologia para
obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Flavio Henrique Vasconcelos de Medeiros
Orientador

Dra. Rafaela Araújo Guimarães
Coorientadora

**LAVRAS - MG
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Freitas, Maiara da Silva.

Uso de microrganismos e metabólitos no desempenho do
feijoeiro comum e no controle do tombamento (*Rhizoctonia solani*)
/ Maiara da Silva Freitas. – Lavras : UFLA, 2022.

70 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2022.

Orientador: Flavio Henrique Vasconcelos de Medeiros.

Coorientadora: Rafaela Araújo Guimarães.

Bibliografia.

1. Biocontrole. 2. *Damping-off*. 3. *Phaseolus vulgaris*. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

MAIARA DA SILVA FREITAS

**USO DE MICRORGANISMOS E METABÓLITOS NO DESEMPENHO DO
FEIJOEIRO COMUM E NO CONTROLE DO TOMBAMENTO (*Rhizoctonia
solani*)**

**USE OF MICROORGANISMS AND METABOLITES IN THE PERFORMANCE
OF COMMON BEAN AND IN THE CONTROL OF DROPPING (*Rhizoctonia
solani*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte de exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/ Fitopatologia, área de concentração em Fitopatologia para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 30 de agosto de 2022.

Prof. Dr. Fabrício de Ávila Rodrigues
Dra. Ana Cristina Andrade Monteiro
Dr. Marcos Donizeti Revoredo
Dra. Rafaela Araújo Guimarães

UFV
Agroteste P&D
Alltech Crop Science
UFLA

Prof. Dr. Flávio Henrique Vasconcelos de Medeiros

Orientador

**LAVRAS – MG
2022**

A Deus,
A minha mãe, Rosely
Dedico.

*“Deus é bom o tempo todo,
O tempo todo Deus é bom!”*
*“Grandes coisas fez o SENHOR por
nós, pelas quais estamos alegres”.*
(Salmos 26:3)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Fitopatologia, pela oportunidade.

A coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida. À Deus, pela graça infinita sobre a minha vida.

À minha mãe Rosely (*in memoriam*), pelo amor, exemplo, força, dedicação, por me cuidar e torcer por mim em todos os momentos da minha vida. Gratidão e saudades eternas, definem. “*O tempo não pode apagar, as muitas águas nunca levarão o amor que você sente por mim, eu sei*”.

Ao Maik Leão, tradução de príncipe e amor, pelo carinho, apoio, paciência, incentivo, por acreditar sempre em mim e pelas preciosas estatísticas e contribuições científicas. “*Melhor é serem dois do que um...*”.

As minhas tias Rosemeire, Rosangela, Rosamônica, sempre presentes e amáveis em toda a minha vida. Ao meu avô Luiz (*in memoriam*) e minha avó Lea, por ser a melhor, é uma satisfação nos parecermos tanto, e pelas suas orações.

À amiga Gabriella Alves Ramos, pelo carinho, apoio, amizade e incentivo. “*Quem anda com os sábios será cada vez mais sábio*”.

À amiga, chefe, supervisora, Luana Maria de Rossi Belufi, pelo acolhimento na Fundação de Pesquisa e Desenvolvimento e Tecnológico Rio Verde, pela consideração e paciência durante o estágio e admissão profissionalmente nas pesquisas, pelo apoio, amizade, carinho e todo incentivo inicial à Fitopatologia. “*Não deixo de dar graças por vocês*”.

Ao professor Flávio Henrique Vasconcelos de Medeiros, pela confiança, orientação e paciência. “*O coração do sábio ensina e promove a instrução*.”

À empresa Agroteste Pesquisa e Desenvolvimento e toda sua equipe, pelo acolhimento, profissionalismo, parceria e pela bolsa concedida.

À Ariane Alvarenga, pela amizade, carinho, empatia e simpatia. “*Pensemos uns nos outros a fim de ajudarmos todos a terem mais amor e a fazerem o bem*.”

À minha coorientadora Rafaela Araújo, pela paciência e confiança.

À técnica de Laboratório de Controle Biológico, Luiza, pela ajuda na condução dos experimentos, organização e paciência. Ao grupo de pesquisa “GCBio”, em nome de Igor Bauth e Andressa Drumond, por toda ajuda, apoio técnico e auxílio nas instalações e condução dos ensaios.

Aos professores do Departamento de Fitopatologia da UFLA, pelas contribuições acadêmicas e conhecimentos dedicados, é privilégio ter aula com todos.

Ao professor, pesquisador, amigo, pai científico e querido Dr. Marcos Aurélio Anequine de Macedo, pela confiança, pelo apoio, amizade, por tantos anos de pesquisa com nossos tomates e por sempre me apoiar a continuar os estudos. “*O coração entendido buscará o conhecimento*”.

Ao Dr. Fabrício Ávila Rodrigues, Dra. Ana Cristina A. Monteiro e Dr. Marcos D. Revoredo, pelo aceite do convite de participação da banca examinadora e contribuições científicas. A todos que diretamente ou indiretamente participaram dessa etapa, obrigada.

RESUMO

O tombamento, causado pelo fungo *Rhizoctonia solani*, é uma das doenças de solo mais importantes que afetam a produção de feijoeiro comum. Esta pesquisa objetivou verificar o desempenho agrônômico de microrganismos, metabólitos de formas isoladas e em combinação via formulação comercial na eficiência para cultura e controle de *R. solani* na cultura do feijoeiro comum. Os experimentos em condições de campo, foram conduzidos na Estação Experimental da Agroteste Pesquisa e Desenvolvimento, no município de Lavras, Minas Gerais, comunidade Mato Dentro, sob as coordenadas 21° 12' 51.87" S, 45° 03' 26.3" O e 898 m de altitude, na safra 2020/2021. As seguintes determinações foram feitas para a cultura do feijoeiro comum com ação de condicionador de solo e promotor de crescimento, à campo, altura de plantas, massa fresca e seca de plantas, massa fresca de raiz, massa seca de raiz, análise de nutrientes foliar e componentes de produção e produtividade da cultura. Os ensaios de controle do patógeno *Rhizoctonia solani*, *in vitro*, foram conduzidos no Laboratório de Controle Biológico e os ensaios *in vivo* em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Fitopatologia (DFP) da Universidade Federal de Lavras, no ano de 2022. Desta forma, foram estabelecidos os experimentos de desempenho de biocontrole *in vitro* de microrganismos, metabólitos, isolados e em combinação sobre o crescimento micelial, número e peso de escleródios de *R. solani*; Desempenho de biocontrole *in vivo* de microrganismos, metabólitos, isolados e em combinação sobre o tombamento e severidade de *R. solani*. Os dados obtidos das avaliações foram submetidos à análise de variância (Teste F), com o teste de homogeneidade, e as médias dos tratamentos, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade no software estatístico R Studio. Os resultados dos estudos indicam que: O uso agrônômico dos produtos SPA (*Bacillus* spp.), SPR (*Bacillus* + *Trichoderma* spp.) e SPT (*Trichoderma* spp.), é favorável ao desenvolvimento normal da cultura em estudo. *Bacillus* spp.; *Trichoderma* spp. e a combinação destes agentes de controle biológico são eficientes no controle *in vitro* para o crescimento micelial e formação de escleródios de *R. solani*; *Bacillus* spp. proporciona maior altura de plantas, massa fresca e seca de raiz e influência positivamente a produtividade da cultura do feijoeiro comum. Através dos dados obtidos pode indicar alta capacidade de controle dos metabólitos, microrganismo, isolados ou em combinação, com elevado potencial para utilização em sistema de manejo integrado de doenças de plantas cultivadas. Os microrganismos antagonistas aplicados via sulco de semeadura, com metabólitos, microrganismos isolados e em combinação interferiu em parâmetros vegetativos de plantas de feijoeiro comum sem a presença de inóculo em condições de campo. Os tratamentos com *Bacillus*, *Trichoderma*, isolados e em combinação via aplicação de metabólitos e microrganismos, interferiu significativamente no aumento de produtividade da cultura do feijoeiro. O desempenho dos produtos avaliados foi diferente de acordo com a variável considerada e fração.

Palavras-Chave: *Bacillus*. Biocontrole. *Damping-off*. *Phaseolus vulgaris*. *Trichoderma*

ABSTRACT

Damp-off, caused by the fungus *Rhizoctonia solani*, is one of the most important soil diseases affecting common bean production. This research aimed to verify the agronomic performance of microorganisms, metabolites of isolated forms and in combination via commercial formulation in the efficiency for culture and control of *R. solani* in the common bean crop. The experiments were carried out under field conditions at the Experimental Station of Agroteste Pesquisa e Desenvolvimento, in the municipality of Lavras, Minas Gerais, Mato Dentro community, under the coordinates 21° 12' 51.87" S, 45° 03' 26.3" W and 898 m of altitude, in the 2020/2021 harvest. The following determinations were made for the common bean crop with the action of soil conditioner and growth promoter, in the field, plant height, plant fresh and dry mass, root fresh mass, root dry mass, leaf nutrient analysis and components of crop production and productivity. *R. solani* pathogen control assays, in vitro, were conducted at the Biological Control Laboratory and in vivo assays in a greenhouse, belonging to the Department of Phytopathology (DFP) of the Federal University of Lavras, in the year 2022. In this way, in vitro biocontrol performance experiments of microorganisms, metabolites, isolated and in combination on mycelial growth, number and weight of microsclerotia of *R. solani* were established; *In vivo* biocontrol performance of microorganisms, metabolites, isolated and in combination on damping-off and severity of *R. solani*. The data obtained from the evaluations were submitted to analysis of variance (Test F), with the test of homogeneity, and the means of the treatments, when significant, were compared by the Tukey test at 5% probability in the statistical software R Studio. The results of the studies indicate that: The agronomic use of the products SPA (*Bacillus* spp.), SPR (*Bacillus* + *Trichoderma* spp.) and SPT (*Trichoderma* spp.), is favorable to the normal development of the culture under study. *Bacillus* spp.; *Trichoderma* spp. and the combination of these biological control agents are efficient in the in vitro control of mycelial growth and sclerotia formation of *R. solani*; *Bacillus* spp. provides greater plant height, fresh and dry root mass and positively influences the productivity of the common bean crop. Through the data obtained, it can indicate a high ability to control metabolites, microorganisms, isolated or in combination, with high potential for use in an integrated management system for diseases of cultivated plants. The antagonistic microorganisms applied via the sowing furrow, with metabolites, isolated microorganisms and in combination interfered in the vegetative parameters of common bean plants without the presence of inoculum under field conditions. The treatments with *Bacillus*, *Trichoderma*, isolated and in combination via application of metabolites and microorganisms, significantly interfered in the increase of productivity of the bean crop. The performance of the evaluated products is different according to the considered variable and fraction of the metabolite.

Keywords: *Bacillus*. Biocontrol. *Damping-of*. *Phaseolus vulgaris*. *Trichoderma*.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL	2
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA.....	10
2.1.1	Feijão-comum (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	10
2.1.2	Importância econômica da cultura.....	11
2.2	PRINCIPAIS DOENÇAS	18
2.2.1	<i>Rhizoctonia solani</i>	12
2.3	CONTROLE BIOLÓGICO DE FUNGOS FITOPATOGÊNICOS.....	14
2.3.1	Fungos como agente de biocontrole	15
2.3.1.1	<i>Trichoderma</i> spp.....	15
2.3.2	Bactérias como agente de biocontrole.....	17
2.3.2.1	<i>Bacillus</i> spp.	17
2.4	Associação de antagonista no controle de doenças	18
2.5	Condicionador de solo e Nutrição mineral de plantas.....	18
	REFERÊNCIAS	18
1.	INTRODUÇÃO	25
2.	METODOLOGIA	25
2.1	INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS DE DESEMPENHO AGRONÔMICO PARA A CULTURA DO FEIJOEIRO	25
2.2	INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS DE DESEMPENHO DE BIOCONTROLE SOBRE O PATÓGENO DO FUNGO CAUSAL <i>R. SOLANI</i> A CULTURA DO FEIJOEIRO.....	30
2.2.1	Microrganismo fitopatogênico e preparo do inoculo	30
2.2.2	Desempenho de biocontrole <i>in vitro</i> de microrganismos, metabólitos, isolados e em combinação sobre o crescimento micelial, número e peso de escleródios de <i>R. solani</i>	30
2.2.3	Desempenho de biocontrole <i>in vivo</i> de microrganismos, metabólitos, isolados e em combinação sobre o tombamento e severidade de <i>R. solani</i>	31
2.2.4	Análise de dados.....	32
3.	RESULTADOS.....	32
4.	DISCUSSÃO	56
5.	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO GERAL

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) destaca-se no cenário agrícola nacional, definido como produto de relevância no mercado interno, pois, o Brasil é o maior produtor e consumidor mundial dessa leguminosa. Essa leguminosa fornece propriedades nutricionais, aminoácidos, carboidratos, minerais e vitaminas essenciais, além de possuir quantidade de fibras dietéticas e baixa quantidade de lipídios.

A cultura do feijoeiro é caracterizada por apresentar alta adaptabilidade em todas as regiões brasileiras. O ciclo da cultura oscila em função do cultivar e temperatura, desta forma desponta como alternativa de produção intensiva sob irrigação, e condições de baixa e alta tecnologia.

Atualmente, o agronegócio evidencia demanda por soluções capazes de agregar a cultura e conseqüente promoção de crescimento, controle de doenças e produção final, neste contexto dependerá da interação da planta com os microrganismos benéficos, envolve a proteção inicial de contato direto com a semente via aplicação em sulco de semeadura.

Dentre as doenças que ocorrem na cultura do feijoeiro por agentes etiológicos prejudiciais ao estabelecimento inicial da cultura presentes no solo são os causadores de podridões radiculares, com perdas de produção excessiva de espécies cultivadas em lavouras comerciais, destaca-se o fungo fitopatogênico radicular, *Rhizoctonia solani* a sintomatologia desse patógeno é inicialmente nas raízes e haste da planta, porém, com o desenvolvimento da doença atinge a parte aérea da planta.

Espécies de *R. solani* é recorrente em solos cultivados ou não, com participação na colonização e decomposição primária de matéria orgânica. A sobrevivência de longos períodos desse fungo é por meio de micélio ou estruturas de resistências, os escleródios, a severidade e intensidade da doença em áreas cultivadas estão diretamente relacionadas à produção de uma única cultura e/ ou pela sucessão de plantas hospedeiras do patógeno.

Para garantir melhorias nas condições microbiológicas do solo devido aos efeitos estimulado pela utilização irracional do uso do solo e produtos defensivos sintéticos, busca-se formas alternativas de controle de doenças e produtos que agregam benefícios à cultura do feijoeiro comum, como a utilização de metabólitos secundários de microrganismos promotores de crescimento de plantas, como fungos e bactérias benéficas, ferramenta importante para o manejo de doenças de plantas.

O controle biológico oferece maiores vantagens de aceitação do consumidor e redução de impactos ao meio ambiente, a sua utilização suprime naturalmente as doenças de plantas

cultivadas, restabelece equilíbrio dos ecossistemas naturais e o sistema solo-planta. Dentre os modos de ação dos microrganismos benéficos incluem a inibição ou parasitismo, competição por nutrientes nos locais de infecção do patógeno e estimulação de mecanismos de resistência de plantas e desenvolvimento da planta.

Os métodos viáveis de aplicação do controle biológico é aplicação via sementes, ou sulco de semeadura, com sobrevivência do microrganismo benéfico. Promove a rápida multiplicação e desenvolvimento do antagonista e conseqüentemente a redução de aplicações do produto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA

2.1.1 Feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.)

O feijão-comum (*P. vulgaris* L.) é originário da América, domesticado em um processo de seleção contínuo, que destacou pools de genes ancestrais da Mesoamérica e outra dos Andes, responsáveis pela determinação de características da cultura (RENDÓN-ANAYA et al., 2017). Sua domesticação ocorreu de forma independente entre essas regiões, com cada um dos pools gênicos divididos em várias raças ecogeográficas. Originárias da América central são adaptadas a regiões áridas e de elevada altitude, já as oriundas dos Andes são ambientadas, temperatura amena e umidade alta (PARKER et al., 2020).

A distribuição geográfica destas espécies ascendentes ocorreu por eventos distintos, pode ser dividido em três escalas espaciais, individualmente, associadas a uma cronologia. A dispersão em curta distância ocorreu por meio das vagens, não ocorre todos os anos, mas com relativa frequência, permite uma considerável interação entre populações afastadas; a dispersão de longa distância, foram eventos raros, sugere que ocorreram em uma escala de tempo 100.000 anos, com distância e frequência de dispersão de sementes inversamente correlacionadas (ARIANI et al., 2018).

Sua dispersão ao continente europeu se deu no século XVI por meio dos colonizadores espanhóis e portugueses, a partir de então sua distribuição por novas colônias e continentes ocorreu de forma acelerada, favorecida pela alta adaptabilidade das espécies do gênero a uma amplitude climática considerável (NASSAR et al., 2010).

O feijão comum pertence à família Fabaceae, constituída por cerca de 700 gêneros e 19.000 espécies (LEWIS et al., 2005). Este grupo tem como característica inerente às

leguminosas e flores majoritariamente papilionáceas, apesar disso, há uma variabilidade anatômica entre as espécies, intrínseco a ampla diversidade genética e climática nas quais podem se desenvolver (NASSAR et al., 2010).

Este grupo de plantas é constituído por cultivares de hábito de crescimento determinado e indeterminado, herbáceas de ciclo anual. Os botões florais surgem em racimos axilares e terminais, e constituem flores zigomáticas. A coloração das flores é desassociada a das sementes, porém, existe associação entre flores específicas e cores de sementes. Estas podem apresentar coloração branca, rosa ou roxa; predominantemente autofecundadas, posteriormente desenvolvem vagens retas ou curvadas, com variabilidade quanto à forma e tamanho das sementes.

O desenvolvimento radicular é principiando pela raiz pivotante e consecutivamente pelas raízes secundárias, radículas (GRAHAM; RANALLI, 1997). O feijoeiro possui sistema radicular pouco agressivo, e apesar disso, apresenta adaptação nos sistemas de plantio, não limita a sua produção e necessita de bom manejo de adubação e fertilização dos solos (STONE; PEREIRA, 1994; AIDAR et al., 2002; CURY et al., 2013).

Uma aspecto que distingue esta família é capacidade dos microrganismos que realizam simbiose, fixam nitrogênio da atmosfera e o disponibilizam para a planta, forma estruturas denominadas rizóbios, entretanto, esta aptidão é padrão entre as espécies da família (AZANI et al., 2017).

2.1.2. Importância econômica da cultura

O feijão-comum é uma destaca-se no cenário agrícola nacional, definido como produto de relevância no mercado interno, pois, o Brasil é o maior produtor e consumidor mundial dessa leguminosa (CONAB, 2021).

O Brasil possui uma área cultivada de mais de 1,6 milhões de hectares com os feijões do tipo Cores e Preto, produção superior a 2,4 milhões de toneladas, no qual a região com maior produção é a Sul (31,36%) seguido de Sudeste (30,36%), Centro-Oeste (25,10%), Nordeste (12,43%) e Norte (0,75%). Os cinco estados com maior participação neste número são Paraná, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Bahia na ordem de participação respectiva do ranking (CONAB, 2021).

A grande variabilidade genética permite que esta cultura seja subdividida em grupos, ao todo 14 os tipos de feijão cultivados. O Carioca e o Preto são os mais consumidos no Brasil (MAZIERO et al., 2017).

2.2 PATÓGENO RADICULAR

Dentre as doenças que ocorrem na cultura do feijoeiro por agentes etiológicos presentes no solo são os causadores de podridões radiculares (*Fusarium solani* e *R. solani*) e do mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) (WENDLAND, et al., 2018), a sintomatologia desses patógenos, inicialmente, raízes e haste da planta, porém, com o desenvolvimento da doença atinge a parte aérea.

O grupo de doenças caracterizados como “*damping-off*”, é recorrente em tecidos vegetais jovens, em sementes pré-emergente e pós-emergente (LES, e et al., 2020), apodrece os tecidos jovens deste órgão devido ação do patógeno presente no solo, reduz a população inicial “stand” de plantas da cultura, refere-se popularmente à “tombamento” (BEDENDO, 1995; GHINI; ZARONI, 2001; NASHWA, 2008), outros sintomas característicos desses fitopatógenos são, o estrangulamento e lesões de diferentes colorações do colo da planta, podridão mole ou seca que desagrega o tecido lenhoso, folhas necróticas entre as nervuras e murcha da plântula (HENNING et al., 2005).

As doenças causadas por patógenos do solo, apresentam dificuldades de controle devido a diversidade de microrganismos que competem pela sobrevivência (LIMA et al., 2005). Mesmo com a ausência do hospedeiro, os patógenos apresentam sobrevivência no solo a partir de estruturas de resistências (AMORIM, 1995).

2.2.1 *Rhizoctonia solani*

O gênero *Rhizoctonia* foi descrito por DeCandolle (1815), no entanto a espécie *R. solani* foi descrita em 1858 por Kühn (SNEH e et al, 1991), o qual é anamorfo de *Thanatephorus* sp, pertencente ao Reino Fungi, Filo Basidiomycota, Classe Basidiomycetes, Ordem Cantherellales, Família Cerbasidiaceae (TU; KIMBROUGH, 1978; SNEH e et al, 1991; BISBY et al., 2011) (Figura 1).

O gênero apresenta como características principais, forma micelial (MORDUE, 1974; ANDERSON, 1982; SENEH e et al., 1991; LEACH; GABER, 2002; GONZÁLEZ et al., 2011), a ramificação em hifas, presença de septo do tipo doliporo na ramificação da hifa concêntrica em sua extremidade basal, ausência de conídios, tecido esclerocial não diferencia em córtex, membrana e ausência de rizomorfos.

R. solani é um fungo com ampla distribuição geográfica, com vasta patogenicidade em hospedeiros, causa doenças na maioria das plantas cultivadas, conhecida como agente etiológico da podridão-radicular ou mela, esta, também conhecida como queima da teia

micélica (NECHET; HALFELD-VIEIRA, 2009), devido a sua complexidade os biótipos da espécie, difere quanto aos hospedeiros por compatibilidade vegetativa, distribuição na natureza, aparência em multiplicação em meio de cultura (BOTELHO et al., 2001; TEIXEIRA et al., 2017), baseado na anastomose de hifas ou incompatibilidade somática entre os indivíduos de grupos distintos (OGOSHI, 1987; 1996; GONZÁLEZ et al., 2006; AGARWAL, 2010) e pode ocorrer variações entre espécies do mesmo gênero (GOULART, 2002; BUENO et al., 2007).

O patógeno de solo com ampla gama de hospedeiros, ultrapassam 190 espécies (BOTELHO, 2001; LAKSHMAN et al., 2008). As hospedeiras do fungo variam entre os grupos de leguminosas, solanáceas, cucurbitáceas (MICHEREFF, 2005).

Os propágulos de *R. solani* sobrevivem no solo por longos períodos na ausência de hospedeiros e condições favoráveis, associados com restos culturais e outros detritos orgânicos, e na forma de escleródios, principalmente na camada superficial do solo (PAPAVIZAS; DAVEY, 1961; VAN; ARNESON, 1986; SNEH e et al., 1991;). As especializações no modo de sobrevivência dos fungos fitopatogênicos habitantes do solo apresentam vantagens e desvantagens importantes (MENZIES, 1970).

As vantagens para esse grupo de fungos do solo, apresentam a capacidade de sobreviver por um longo período de tempo na ausência de planta hospedeira; competição saprofítica; ciclo de vida no solo, as desvantagens de disseminação são devido aos estádios de disseminação serem vias solo (HILLOCKS; WALLER, 1997)

A ausência de especificidade de hospedeiro propícia a distribuição por muitas áreas, e a sobrevivência em substrato residual representa uma estratégia evolutiva (REIS et al., 2011), a estratégia de sobrevivência denominada de colonização saprofítica (GILLIGAN, 1998).

A faixa de temperatura ideal de patogenicidade está entre 24 e 27 graus (OLIVEIRA et al., 2014). A infecção nos diversos hospedeiros ou órgãos pode resultar em diferentes sintomas como podridões e cancos de caules e raízes, tombamentos de pré e pós-emergência (LUMSDEN; LOCK, 1989), queima e morte de plantas, podridões em tubérculos, degeneração de frutos e grãos, além de manchas e queima das folhas e brotos, na parte aérea (BAKER, 1970; OGOSHI, 1987; AGARWAL, 2010) e consequente perdas de produção (CARDOSO, 1994).

O controle do patógeno causador da podridão radicular apresenta complexidade, pois o patógeno possui predisposição de competição saprofítica, capacidade de sobrevivência no solo na ausência da planta hospedeira, transmissibilidade pelas sementes (OGOSHI, 1987; CUBETA; VILGALYS, 2000; BETTIOL, 2009a; AGARWAL, 2010).

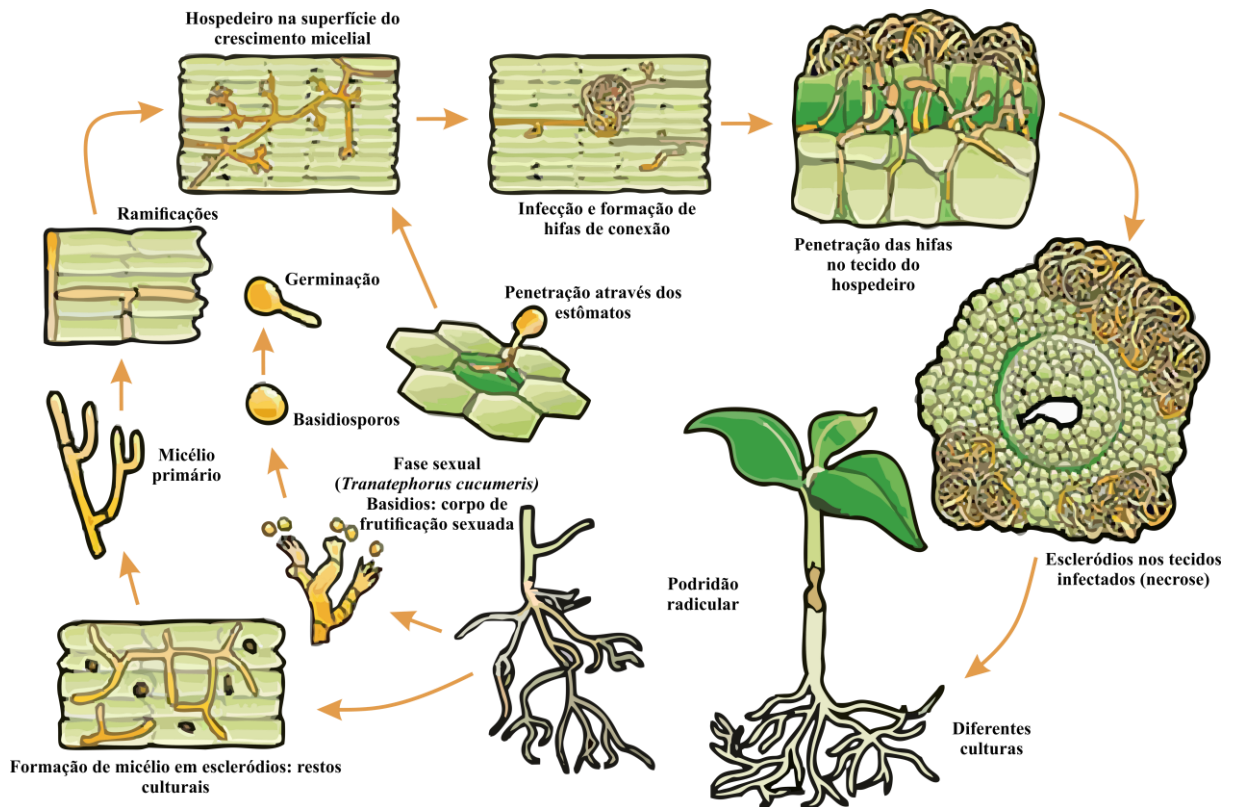


Figura 1. Ciclo de vida de *Rhizoctonia solani*: Micélio e escleródios persistem restos de plantas, solo ou plantas hospedeiras; as hifas jovens desenvolvem-se de forma gradual (micélio primário), e um micélio mais velho com ramificações coloniza a superfície da planta e produz infecção e formação de hifas de conexão no hospedeiro. As hifas penetram nos tecidos da planta hospedeira, o que pode levar nos tecidos infectados (necrose).

Fonte: Adaptado de hablemosdemanejointegrado, 2018.

2.3 CONTROLE BIOLÓGICO DE FUNGOS FITOPATOGÊNICOS

Diferentes definições de controle biológico são aceitas, de formas amplas, como “redução da soma de inoculo ou das atividades da doença provocada por um patógeno, realizada por organismos que não o homem” (COOK; BAKER, 1983), ou seja, a “utilização de um microrganismo não patogênico para controlar outro microrganismo patogênico (BETTIOL, 1991; MEDEIROS et al., 2018).

O controle biológico desponta como alternativa viável, medida essa considerável de redução ou substituição do uso de defensivos químicos agrícolas. Nesse método de controle, utiliza diversos microrganismos benéficos presentes ou pela introdução em larga escala dos antagonistas (LUCON, 2008), a seleção almeja microrganismos com mecanismos como micoparasitismo, competição por espaços e nutrientes, produção de metabólitos, este, com ação enzimática e antibiótico (MELO; VALARINI, 1995).

No Brasil os microrganismos com maiores usos e eficiência de bioprodutos são *Bacillus* spp. e *Trichoderma* spp., os mesmos aumentam a eficácia de utilização para uma gama de plantas hospedeiras e patógenos (ROMEIRO, 2005a).

A base principal do programa de controle biológico são os microrganismos com capacidade antagonista, baseado na indução de resistência à planta (SOUZA et al., 2017), proteção da cultura hospedeira. Segundo a reaplicação de introdução dos antagonistas irá depender do ambiente e adaptabilidade dos mesmos para que as propriedades de ação do hiperparasita perante o fitopatógeno seja eficaz (MELO; VALARINI, 1995; GRIGOLETTI e et al., 2000;).

Em estudos, foi verificado que a ação do controle biológico à patógenos radiculares, são cometidos pelas ações que resultam na eliminação das estruturas de resistência e potencial de inóculo e propagação do fitopatógeno, proporciona pleno desenvolvimento da planta (BARBOSA et al, 1995; LUCON, 2008).

Os produtos com ação antagonista de controle microbiológico benéficos estão em desenvolvimento contínuo no mercado, são seletivos, baixo residual e desempenho elevado, proporcionam efeitos imediatos e a longo prazo, tendência a utilização e crescimento proporcional na indústria global de defensivos agrícolas. A aplicabilidade do antagonista se estabelecer em condições de solo, em uma nova unidade funcional microbiana, dependerá de fatores inerentes a tolerância e expressividade em competição. Conforme relato em pesquisas, os sucessos desses produtos de biocontrole de patógenos causadores de doenças, é a disponibilidade de aplicação que favorece a rápida multiplicação, como o tratamento de sementes ou aplicação via sulco de semeadura (HARMAN et al, 1980; COOK; BAKER, 1983; CAMPBELL, 1989; HARMAN; TAYLOR, 1990).

2.3.1 Fungos como agente de biocontrole

2.3.1.1 Trichoderma spp.

Atualmente, a adoção de métodos de controle desempenha um papel importante dentro do manejo integrado de doenças. O uso de agentes de biocontrole no tratamento de sementes é uma medida já aceita por muitos produtores, pois pode ser uma alternativa para diminuir a dependência dos fungicidas nos cultivos agrícolas, e também evitar a resistência dos patógenos a tais produtos químicos. Nesse sentido, o fungo *Trichoderma* spp. destaca-se como importante agente de biocontrole na microbiolização de sementes. No Brasil, a área tratada com *Trichoderma* spp. cresceu nos últimos anos, e sua viabilidade, como medida de controle de doenças é justificada não só pela sua ação antagonista, mas está relacionada com a sustentabilidade na agricultura moderna (MORANDI; BETTIOL, 2009).

O fungo *Trichoderma* tem a fase sexuada no Filo Ascomycota, classe Euasmycetes, ordem Hypocreales, família Hypocreaceae, gênero *Hypocrea* (MONTE, 2001). *Trichoderma* é um dos gêneros de fungos estimado comercialmente disponíveis como fungo promotor de crescimento de planta e como agentes de biocontrole, este é estimado no controle de doenças desde a década de 30. As espécies *T. harzianum*, *T. virens* e *T. viride* são as espécies mais utilizadas como agentes de controle biológico de patógenos de plantas (HERMOSA et al., 2000; BETTIOL, 2012b).

Abundantemente distribuído em todas regiões no mundo de clima temperado e tropical, o gênero *Trichoderma* ocorre na maioria dos solos cultivados e ambientes naturais, principalmente solos associados e ricos em matéria orgânica (MELO, 1998; LUCON, 2008; BETTIOL, 2012b). Muitas espécies de *Trichoderma* são também encontradas na rizosfera de plantas (LOBO-JUNIOR e et al, 2019), altamente interativos com a planta na raiz e solo (POMELLA; RIBEIRO, 2009) e madeira em decomposição e fungos macroscópicos são normalmente colonizados pelo gênero *Trichoderma* (ABREU; PFENNING, 2019). Refere-se a um hiperparasita, ou seja, parasita ou sobrevive em outro organismo, e uma das características mais relevantes do gênero é a capacidade de parasitar outros fungos (HARMAN et al., 2004; MONTEIRO et al., 2010; BETTIOL, 2019c), este importante e estudado, interligado diretamente a sua eficiência e ampla espécies de plantas que possa ser utilizado e expressa diferentes modos de ação, como controle de fitopatógenos de radiculares e de parte aérea (BETTIOL, 2012b).

Dentro das propriedades de *Trichoderma* sp, destaca-se como promotores de crescimento de plantas (VINALE, et al., 2008; 2009), agente de biocontrole e condicionador das plantas (WOO; PEPE, 2018), e inibidores (VINALE, et al., 2009; LUO, et al., 2010) devido a diversidade dos metabólitos secundários produzidos o microrganismo apresenta utilidade na agricultura e sucesso significativo.

Trichoderma spp., secreta abundante variedade de metabólitos secundários que contribuem de forma significativa na sinalização, e interação com microrganismos de diferentes maneiras, com participação e potencialidade no controle de fitopatógenos.

O gênero demonstra atividades antagônicas de amplo espectro contra diversos patógenos causadores de doenças em plantas cultivadas (KUMAR et al., 2011). Dentre os modos de ação, incluem o micoparasitismo, diretamente com o fitopatógeno, secreção de enzimas que degradam a parede celular, conseqüentemente, penetração e morte do tecido (WOO; PEPE, 2007), a antibiose com características de secreção de metabólitos secundários

com propriedades antimicrobianas (VINALE et al., 2008; HERMOSA et al., 2012). Competitividade, decompositores naturais, mobilizam e absorvem de forma eficiente macro e micronutrientes do solo, ou seja, é gerado escassez de nutrientes para outros microrganismos (BENITEZ et al., 2004; VERMA et al., 2007).

Diferentes espécies do gênero *Trichoderma* com aplicação e potencial de controle de fitopatógenos radiculares como *R. solani*, *Fusarium* spp., e de parte aérea de plantas, como, *Botrytis* spp. (GRIGOLETTI, 2000; BETTIOL; MORANDI, 2009; MUNIR et al., 2013).

2.3.2 Bactérias como agente de biocontrole

2.3.2.1 *Bacillus* spp.

É considerado que existam aproximadamente 268 espécies e 7 subespécies dentro do gênero *Bacillus*, no entanto, novas espécies são descobertas com o decorrer do tempo. Estas bactérias possuem aptidão de se desenvolverem em diversos habitats, coexistindo em vários nichos ecológicos (ESPOSITO; SILVA, 2018), esporulados via solo, plantas, água, ar (MONTINO, 2021).

As bactérias do gênero *Bacillus* são pertencentes à família Bacillaceae, atualmente inclui mais de 60 espécies, são Gram-positivas, aeróbicas facultativas ou obrigatórias, formadores de endósporos, móveis, bastonetes, e produção de muitas enzimas.

Como agente de biocontrole algumas características lhe conferem uma excepcional capacidade de controlar patógenos de plantas, com destaque para produção de produção de antibióticos, também chamados de metabólitos, que apresentam diversificação em função da espécie, associado à sua capacidade de multiplicação e desenvolvimento em vários habitats lhe tornam uma agente de biocontrole extremamente eficiente e competitivo.

Algumas cepas de *Bacillus subtilis* possuem cerca de 4 a 5% de seus genomas destinados à produção metabólitos secundários, com aptidão para sintetizar mais de vinte e quatro tipos de compostos estruturalmente distintos (STEIN, 2005).

Entre outros isolados, outro típico exemplo é a cepa associada à planta *B. amyloliquefaciens* FZB42, que tem quase 8% de o genoma envolvido na produção de metabólitos secundários, inclui bacteriocinas, peptídeos e lipopeptídeos antimicrobianos, policetídeos e sideróforos (CHEN et al., 2009; RÜCKERT et al., 2011).

Além desses atributos, diversos isolados é relatado na literatura como promotores de crescimento de plantas, estimulantes da nodulação de leguminosas (YOBO et al., 2011), indução de resistência sistêmica, possuem atividade fungicida, prevenção de doenças no solo,

incrementos na emergência inicial das culturas, favorecendo menor contato com patógenos de solo (MANJULA; PODILE, 2005), restabelecimento da microflora benéfica do solo, competição por espaço e nutrientes e antibiose.

2.4 ASSOCIAÇÃO DE ANTAGONISTA NO CONTROLE DE DOENÇAS

A estratégia de utilizar simultaneamente vários princípios ativos é de tempos abordada como a solução para assegurar uma eficiência de controle em condições diversas. Visando isso, uma cepa pode ser utilizada em combinação com outra, essas associações podem ampliar o espectro de patógenos afetados, através dos mecanismos de ação distintos e inerentes a cada cepa, bem como o sinergismo entre as cepas (CAWOY et al., 2011).

A combinação de antagonistas é desejável por proporcionar maior potencial de agentes responsáveis pela supressão dos processos vitais do patógeno e também permitir o biocontrole em diferentes condições ambientais (BETTIOL et al., 2009b). Da mesma forma, a combinação de um ou mais agentes de controle biológico, associados a compostos orgânicos mineralizados que podem potencializar o controle de doenças do solo.

Dentre as vantagens da mistura de antagonistas microbianos estão: Expansão dos alvos fitopatogênicos; diminuição de perdas de eficácia; exploração de outros mecanismos de ação; combinação de diversas características de biocontrole (SHARMA et al., 2009).

A utilização do controle biológico no manejo de doenças de plantas, pode minimizar com facilidade as dificuldades durante o desenvolvimento das culturas (MEDEIROS et al., 2012). Os mecanismos de ação associados no controle de patógenos, obtém êxito no controle, e conseqüente maior uso comercial (BETTIOL, 1991).

O uso combinado de agente de biocontrole e microrganismos promotores de crescimento podem promover uma supressão sobre patógenos mais fortes, além de incrementar a produtividade, graças ao aumento de absorção de nutrientes pelo sistema radicular mais desenvolvido (YOBO et al., 2011).

2.5 CONDICIONADOR DE SOLO E NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS

Com objetivo de melhorias nas propriedades do solo, o condicionador refere-se a um determinado produto adicionado em meio poroso podendo ser substrato orgânico ou solo (KAMPF, 1999; BRASIL, 2006) com ação bioestimulante (VENANCIO, 2019). Para os microrganismos agentes de biocontrole como condicionador, esses atuam de forma não

patogênica às plantas cultivadas, resistência aos raios ultravioleta (UV) e sobrevivência em condições adversas.

Desta maneira, os condicionadores biológicos de solo, são possibilidades viáveis, com atividades de potencial de melhorias de características biológicas, físicas e químicas do solo, a exemplo do *Trichoderma* spp.

Resultados de pesquisas com esse gênero de microrganismo benéfico, apresentou efeitos nutricionais, crescimento inicial em potencial, melhorias na absorção de nutrientes, ação indireta na fixação biológica de nitrogênio (N) (SIQUEIRA; FRANCO, 1988), promoção do crescimento de plantas (PEDRO et al., 2012), e estímulo dos mecanismos de resistência de plantas (YEDIDIA et al., 2003; FORTES et al., 2007). A nutrição das plantas, está diretamente relacionada pela obtenção em forma de íons inorgânicos do solo, estes elementos considerados essenciais para sobrevivência da planta, atuam no desenvolvimento, qualidade e quantidade necessária, promovendo a preparação da planta para fatores bióticos que possam interagir ao longo do ciclo.

Medidas de fornecimento de microrganismos benéficos, agregam na mineralização da matéria orgânica, decomposição de substâncias e ciclagem dos nutrientes no solo, esses condicionadores biológicos influenciam no equilíbrio microbiológico do solo, mantém equilíbrios ecológicos e biológicos, proporcionam sanidade das plantas com estímulos à produção, efeitos simbióticos e agregam a disponibilidade de nutrientes.

Dentre os benefícios, destacam-se ainda os efeitos correlacionados aos estresses abióticos, com redução de doenças e conseqüentemente melhorias da produtividade das culturas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L.M.; PFENNING, L.H. O gênero *Trichoderma*. In: MEYER, M.C; MAZARO, S.M; SILVA, J.C. **Trichoderma Uso na Agricultura**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, cap. 17, p. 163-178.
- AGARWAL, D. K. *Rhizoctonia* D.C.: taxonomy, ecology and management. In: MUKERJI, K. G.; MANOHARACHARY, C. (Eds.). **Taxonomy and ecology of Indian fungi**. New Delhi: I. K. International Publishing House, p. 19-50, 2010.
- AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; THUNG, M. Sistema de produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais: estabelecimento da cultura. **Embrapa Arroz e Feijão-Circular** Técnica, 2002.
- AMORIM, L. Sobrevivência do inóculo. In: BERGAMIN FILHO, A. (Ed.). **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, p. 246-267, 1995.
- ANDERSON, N. A. **The genetics and pathology of *Rhizoctonia solani***. Annual Review of Phytopathology, v. 20, p. 329-347, 1982.
- ARIANI, A.; MIER TERAN, J. C. B.; GEPTS, P. Spatial and Temporal Scales of Range Expansion in Wild *Phaseolus vulgaris*. **Molecular Biology and Evolution**, v. 35, n. 1, p. 119–131, 2018.
- AZANI, N. et al. A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny – The Legume Phylogeny Working Group (LPWG). **Taxon**, v. 66, n. 1, p. 44–77, 2017.
- BEDENDO, I. P. *Damping-off*. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, v.1, cap. 42, p. 820- 828, 1995.
- BENITEZ, T. et al. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. **International Microbiology**, v. 7, n. 4: p. 249-260, 2004.
- BETTIOL, W. **Componentes do controle biológico de doenças de plantas**. In: BETTIOL, W. (Org). Controle biológico de doenças de plantas. Jaquariúna: Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de defesa da Agricultura, p. 1-3, 1991.
- BETTIOL, W.; GHINI, R.; MARIANO, R. R. L.; MICHEREFF, S. J.; MATTOS, L. P. **Supressividade a fitopatógenos habitantes do solo**, 2009.
- BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. Controle Biológico de Doenças de Plantas no Brasil. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. **Biocontrole de doenças de plantas: Uso e perspectivas**. v.1, cap. 12. p. 187-208, 2009.
- BRASIL, **Instrução Normativa SDA nº 35, de 4 de julho de 2006**. Dispõe de normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez de alcalinidade sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura. ISSN 1677-7042, nº 132, 2006.

CAWOY, H. et al. *Bacillus*-based biological control of plant diseases. In: Stoytcheva, M. (Ed.). **Pesticides in the modern world-pesticides use and management**. Rijeka-HR: InTech, p. 273–302, 2011.

CHEN, X. H. et al. Genome analysis of *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 reveals its potential for biocontrol of plant pathogens. **Journal of Biotechnology**, v. 140, n. 1–2, p. 27–37, 2009.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, décimo segundo levantamento**. Brasília: Conab, v. 6, n. 12, Safra 2018/19, 2020.

CURY, J.P.; SANTOS, J.B.; SILVA, E.B.; BRAGA, R.R.; CARVALHO, F.P.; VALADÃO S. D.; BYRRO, E.C.M. Eficiência nutricional de cultivares de feijão em competição com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.31, n.1, p.79-88, 2013.

GHINI, R; ZARONI, M.M. Relação entre coberturas vegetais e supressividade de solos a *Rhizoctonia solani*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 26, p. 10-15, 2001.

GRAHAM, P. H.; RANALLI, P. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Field Crops Research**, v. 53, n. 1–3, p. 131–146, 1997.

ESPOSITO, E.; SILVA, M. Systematics and environmental application of the genus FIRA, D. et al. Biological control of plant pathogens by *Bacillus* species. **Journal of Biotechnology**, v. 285, p. 44–55, 2018.

FORTES, F. O.; SILVA, A. C. F.; ALMANÇA, M. A. K.; TEDESCO, S. B. Promoção de enraizamento de microestacas de um clone de *Eucalyptus* sp. por *Trichoderma* spp. **Revista Árvore**, v. 31, n. 2, p. 221-228, 2007.

GRIGOLETTI JÚNIOR, A.; SANTOS, A.F.; AUER, C.G. Perspectivas do uso do controle biológico contra doenças florestais. **Revista Floresta**, Curitiba, v.30, p.135-165, 2000.

HARMAN, G.E. et al. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature reviews. Microbiology**, v.2, n.1, p. 43-46, 2004.

HERMOSA, M. R.; GRONDONA, I.; ITURRIAGA, E. A.; DIAZ-MINGUEZ, J. M.; CASTRO, C.; MONTE, E.; GARCIA-ACHA, I. Molecular characterization and identification of biocontrol isolates of *Trichoderma* spp. **Applied Environmental Microbiology**, v. 66, n.1, p.1890-1898, 2000.

HERMOSA, R.; VITERBO, A.; CHET, I. MONTE, E. Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. **Microbiology**, London, v.158, p.17–25, 2012.

HERMOSA, R.; CARDOZA, R.E.; RUBIO, M.B.; GUTIÉRREZ, S.; MONTE, E. Secondary metabolism and antimicrobial metabolites of *Trichoderma*. In: GUPTA, V.G.; SCHMOLL, M.; HERRERA-ESTRELLA, A.; UPADHYAY, R.S.; DRUZHININA, I.; TUOHY, M. **Biotechnology and Biology of Trichoderma**. Elsevier, 2014.

KÄMPF, A.N. **Seleção de materiais para uso como substrato**. In: KÄMPF, A.N.; FERMINO, M.H. Substrato para plantas: a base da produção vegetal em recipientes, 1999. 139-145p.

KUMAR, G.; MAHARSHI, A.; PATEL, J.; MUKHERJEE, A.; SINGH, H.B.; SARMA, B.K. *Trichoderma*: A Potential Fungal Antagonist to Control Plant Diseases. **SATSA Mukhapatra Annual Technical**, Issue 21, 2017.

LOBO-JUNIOR, M; MACHADO-ROSA, T.A; GERALDINE, A.M. Uso de *Trichoderma* na cultura do feijão-comum. In: MEYER, M.C; MAZARO, S.M; SILVA, J.C. **Trichoderma Uso na Agricultura**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, cap. 17, p. 393-406.

LES, N., HENNEBERG, L., NADAL, V. G. R., MULLER, M., SZEMOCOWIAKI, A. G., CARNEIRO, F. T., DE SOUZA JACCOUD FILHO, D. Controle de *Rhizoctonia solani* com produtos biológicos no tratamento de sementes na cultura da soja. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n. 12, 99919-99935, 2020.

LEWIS, G. P. et al. **Legumes of the World**. London: Royal Botanic Gardens Kew, 2005.
LUCON, C. M. M.; GUZZO, S. D. Promoção do crescimento do feijoeiro e controle da antracnose por *Trichoderma* spp. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 11, p. 1589-1595, 2012.

LUCON, C. M. M. *Trichoderma* no controle de doenças de plantas causadas por patógenos de solo. **Instituto Biológico: Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Sanidade Vegetal**, n. 77, 2008.

MELO, I.S de; VALARINI, P.J. Potential of rhizobacteria solani in the control of *Fusarium solani*. Sacc. In cucumber (*Cucumis sativum* L.) **Scientia Agricola**, v. 52, n. 2, p. 326-330, 1995.

MAZIERO, S. M.; RIBEIRO, N. D.; CASAGRANDE, C. R. Genetic dissimilarity of common bean lines for agronomic and biofortification traits. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, 2017.

MELO, I.S. Agentes microbianos de controle de fungos fitopatogênicos. In: MELO, I.S.; AZEVEDO, J.L (Ed.). Controle Biológico. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, v. 1, p. 17-67, 1998.

MANJULA, K.; PODILE, A.R. Increase in seedling emergence and dry weight of pigeon pea in the field with chitin-supplemented formulations of *Bacillus subtilis* AF 1. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v.21, p.1057–1062, 2005.

MEDEIROS, F.H.V; MARTINS, S.J.; ZUCCHI, T.D.; MELO, I.S.; BATISTA, L.R.; MACHADO, J.C. Review - Biological control of mycotoxin-producing molds, **Ciência e Agrotecnologia**, 2012.

MEDEIROS, F.H.V.; SILVA, J.C.P.; PASCHOLATI, S.F. Controle Biológico de Doenças de Plantas. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; FILHO, A. **Manual de Fitopatologia**, v.1, ed. 5, p.261 – 272, 2018.

MUNIR, S. JAMAL, Q.; BANO, K.; KHAN, S.; BOKHARI, T. Z.; KHAN, T. A.; KHAN, R. A.; JABBAR, A.; ANEES, M. Biocontrol ability of *Trichoderma*. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 6, p. 1246-1252, 2013.

PEDRO, E. A. S.; HARAKAVA, R.; NASHWA, M. A.; SALLAM, K. A. M.; ABO-ELYOUSR; HASSAN, M.A.E. Evaluation of *Trichoderma* species as biocontrol agents for damping-off and wilt diseases of *Phaseolus vulgaris* L. and efficacy of suggested formula. **Egyptian Journal Phytopathology**, v. 36, n.1/2, p. 81-93, 2008.

NASSAR, R. M. A.; AHMED, Y. M.; BOGHADAD, M. S. Botanical Studies on *Phaseolus vulgaris* L. I-Morphology of Vegetative and Reproductive Growth. **International Journal of Botany**, v. 6, n. 3, p. 323–333, 2010.

PARKER, T. A.; BERNY, M.Y.; TERAN, J. C.; PALKOVIC, A.; JERNSTEDT, J.; GEPTS, P. Pod indehiscence is a domestication and aridity resilience trait in common bean. **New Phytologist**, v. 225, n.1, p. 558-570, 2020.

POMELLA, A. W. V. RIBEIRO, R. T. S. Controle biológico com *Trichoderma* em grandes culturas – uma visão empresarial. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. **Biocontrole de doenças de plantas: Uso e perspectivas**. 1^a ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, ed. 1, c.1, p. 7-14, 2009.

RENDÓN-ANAYA, M. et al. Genomic history of the origin and domestication of common bean unveils its closest sister species. *Genome Biology*, v. 18, n. 1, p. 60, 2017.

RÜCKERT, C. et al. Genome sequence of *B. amyloliquefaciens* type strain DSM7T reveals differences to plant-associated *B. amyloliquefaciens* FZB42. **Journal of Biotechnology**, v. 155, n. 1, p. 78–85, 2011.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Fixação biológica de nitrogênio**. In: SIQUEIRA, J.O *Biologia do solo fundamentos e perspectivas*. Brasília, 1988, 179-216p.

SHARMA, R.R.; SINGH, D.; SINGH, R. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: A review: **Biological Control**, v.50, n.3m p.205-221, 2009.

SNEH, B.; BURPEE, L.; OGOSHI, A. **Identification of *Rhizoctonia* species**. St. Paul: APS Press, 1991. 133 p.

STONE, L. F.; PEREIRA, A. L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar na produtividade e nutrição do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 4, p. 521-533, 1994.

VENANCIO, W. S. et al. **Uso do *Trichoderma* em Cereais**. *Trichoderma* Uso na Agricultura, cap. 18, Embrapa, 2019.

WENDLAND, A.; LOBO-JUNIOR, M.; FARIA, J.C. **Manual de Identificação das Principais Doenças do Feijoeiro-Comum**. Embrapa, Brasília, DF, 2018.

WOO, S.L; PEPE, O. Microbial consortia: promising probiotics as plant biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v.9, p. 1801, 2018.

YEDIDIA, I.; SHORESH, M.; KEREM, Z.; BENHAMOU, N.; KAPULNIK, Y.; CHET, I. Indução concomitante de resistência sistêmica a *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans* em

pepino por *Trichoderma asperellum* (T-203) e acúmulo de fitoalexinas. **Microbiologia Aplicada e Ambiental**, v. 69, n. 12, pág. 7343-7353, 2003.

YOBO, K. S.; LAING, M. D.; HUNTER, C. H. Effects of single and combined inoculations of selected *Trichoderma* and *Bacillus* isolates on growth of dry bean and biological control of *Rhizoctonia solani* damping-off. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 44, p. 8746–8756, 2011.

TU, C. C.; KIMBROUGH, J. W. **Systematics and phylogeny of fungi in the *Rhizoctonia* complex.** **Botanical Gazette**, v. 139, n. 4, p. 454-466, 1978.

1 INTRODUÇÃO

As compreensões dos problemas relacionados à aplicação de produtos sintéticos no sistema solo-planta e como resultado a resistência de fitopatógenos aos mecanismos de ação, são de grande importância. A resistência da população patogênica, a busca de suprir a necessidade de controle das populações e as ações de manejo e controle têm ocasionado consequências em todos os ecossistemas. O acúmulo desses defensivos químicos pode provocar danos fisiológicos e distúrbios no crescimento com alterações estruturais e fitotoxicidade.

O controle de populações de *Rhizoctonia solani*, doença comum em plantas de feijoeiro e de altas infestações em solos cultivados, são de característica de alto custo econômico (CARDOSO, 1990).

Uma das alternativas é o controle biológico com uso de microrganismos benéficos com potencial antagonistas à microrganismos patogênicos, convencionalmente utilizado em tratamento de sementes e aplicação no sulco de semeadura, no manejo integrado de doenças. Destacam-se os antagonistas *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp., com ações antagonistas e de antibiose.

Diante do exposto o objetivo da pesquisa foi avaliar a eficiência, desempenho agrônomo da utilização de metabólito, microrganismos isolados e em combinação via aplicação no sulco de semeadura e atuação como condicionadores biológicos microbianos do solo e no controle da doença causada por *R. solani* na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* (L.) Merrill).

2 METODOLOGIA

Os ensaios foram realizados em duas fases, em condições de campo sem a presença do inóculo de *R. solani*, estes estudos preliminares dos tratamentos e sua interação com a planta de forma isolada. Posteriormente, a avaliação do desempenho agrônomo e biocontrole de *R. solani* em condições, *in vitro* e *in vivo* em casa de vegetação, cultivado em vaso.

2.1 INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS DE DESEMPENHO AGRONÔMICO PARA A CULTURA DO FEIJOEIRO

Os experimentos foram conduzidos em condições de campo, na Estação Experimental da Agroteste Pesquisa e Desenvolvimento, no município de Lavras, Minas Gerais, comunidade Mato Dentro, sob as coordenadas 21° 12' 51.87" S, 45° 03' 26.3" O e 898 m de altitude, na safra 2020/2021.

Foi realizado amostragem de solo para análises laboratoriais, a área do experimento foi dividida em subamostras simples e posteriormente homogêneas, com obtenção de amostras compostas, este procedimento foi realizado anterior a instalação dos ensaios e encaminhadas para Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Lavras – UFLA.

Conforme a análise química e física, o experimento foi instalado em solo de textura argilosa (Tabela 1). Com base na análise de solo e nas recomendações agrônômicas do manual “Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais” (RIBEIRO et al., 1999), foram realizadas as adequações necessárias no solo para atender as necessidades da cultura.

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do solo utilizado no experimento. Lavras-MG, 2022.

Textura	pH (H ₂ O)	P-rem	P (Mehlich)	K (Mehlich)	S-SO ₄ ²⁻
Argilosa	5,9	29,1	6,5	290,15	19
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	T
35,0	9,0	0,2	23,0	51,4	51,6
V	m	MOS	Argila	Silte	Areia
69	0	2,1	48,4	19,4	32,2

Fonte: Laboratório de Análises de Solo da Universidade Federal de Lavras. *pH (H₂O): Potencial hidrogeniônico medido em suspensão de solo: água em relação 1:2,5; P-rem: Fósforo remanescente; P (Mehlich-1): Fósforo disponível; K (Mehlich-1): Potássio disponível; S-SO₄²⁻: Teor de enxofre disponível na forma de sulfato; Ca²⁺: Cálcio trocável; Mg²⁺: Magnésio trocável; Al³⁺: Alumínio trocável; H + Al: Acidez potencial; SB: Soma de bases trocáveis; T: Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; MOS: Matéria orgânica do solo; V: Saturação de bases na T do solo.

Outros tratos culturais recomendados foram adotados conforme com as práticas agrônômicas estabelecidas e as necessidades da cultura ao longo do seu ciclo (Tabela 2).

Tabela 2. Tratos culturais realizados conforme recomendações para a cultura do feijão. Lavras - MG, 2022.

Tratos culturais	Doses	Objetivo
Sulfato de amônio + MAP + Cloreto de Potássio + Ácido bórico + Sulfato de zinco + sulfato de cobre	65 kg ha ⁻¹ + 150 kg ha ⁻¹ + 50 kg ha ⁻¹ + 6 kg ha ⁻¹ + 20 kg ha ⁻¹ + 6 kg ha ⁻¹	Fornecimento de nutrientes na semeadura
Sulfato de amônio + Cloreto de Potássio	200 kg ha ⁻¹ + 50 kg ha ⁻¹	Fornecimento de nutrientes de cobertura
Fusilade 250 EW	1,0 L kg ha ⁻¹	Controle de plantas invasoras

*kg ha⁻¹: quilogramas por hectare; L ha⁻¹: litros por hectare; mL ha⁻¹: mililitros por hectare; MAP: fosfato monoamônico; NPK: Fertilizante mineral misto formulado a base de nitrogênio, fósforo e potássio.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Os tratamentos avaliados, foram obtidos a partir de separações dos microrganismos antagonistas, estes, foram isoladas de três produtos em fase comercial para registro com atividade de controle biológico no manejo de doenças de plantas, no qual procedeu à separação via método de centrifugação, objetivando a separação do metabólito (sobrenadante) dos microrganismos. A metodologia foi através de centrifugação por quinze minutos a 10.000 rpm, logo após foi realizado uma pré-limpeza com solução salina (NaCl) e centrifugado novamente para obtenção dos tratamentos.

A caracterização e doses dos produtos utilizados no experimento estão descritos na Tabela 3. Os ensaios conduzidos em condições de campo e os dados das condições climáticas vigentes durante a condução do experimento foram obtidos na Estação Meteorológica da Empresa de Agroteste Pesquisa e Desenvolvimento (Figura 2).

Tabela 3. Tratamentos, ingredientes ativos e doses dos produtos na avaliação de eficiência de produtos como promotores de desenvolvimento de plantas e, condicionadores de solo. Lavras - MG, 2022.

Tratamento	I. A	Dose (L /ha)
Testemunha	---	---
SPA – metabólito	<i>Bacillus</i>	2
SPA – microrganismo	<i>Bacillus</i>	2
SPA – formulado comercial	<i>Bacillus</i>	2
Testemunha	---	---
SPR – metabólito	<i>Bacillus + Trichoderma</i>	2
SPR - microrganismo	<i>Bacillus + Trichoderma</i>	2
SPR – formulado comercial	<i>Bacillus + Trichoderma</i>	2
Testemunha	---	---
SPT – metabólito	<i>Trichoderma</i>	2
SPT – microrganismo	<i>Trichoderma</i>	2
SPT – formulado comercial	<i>Trichoderma</i>	2

*L: litros de produto formulado. I.A: Ingrediente ativo; ha: hectare.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

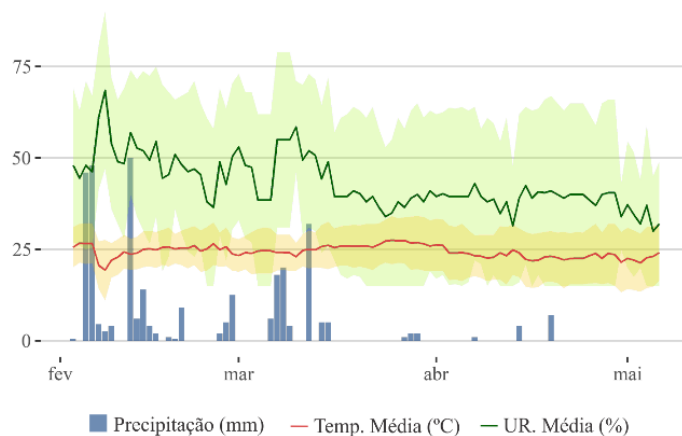


Figura 2. Precipitação pluvial média (mm); Temperatura máxima (°C); Temperatura média (°C) e Temperatura mínima (°C), registrados durante a condução dos experimentos de campo, nos meses de fevereiro, março, abril, maio. Dados da estação experimental da Empresa de Pesquisa Agroteste.

O clima do município de Lavras, segundo a classificação climática de Köppen, é Cwa, temperado chuvoso com inverno seco e verão chuvoso, subtropical, com média de temperatura nos períodos quentes de 22°C (Figura 2).

A semeadura do feijão-comum, cultivar BRS Estilo, recomendado para o cultivo na região de Lavras-MG, ciclo normal (85 a 90 dias), plantas arbustivas com hábito de crescimento indeterminado tipo II com flores são de coloração branca, e os grãos do tipo carioca (MELO, et al., 2011). A semeadura foi realizada em espaçamento de 0,5 m entre linhas e ~5,7 cm entre plantas, visando *stand* de ~350.000 plantas por hectare.

A largura da parcela foi de 3 metros e comprimento de 2 metros, totalizando uma área com 18 m² por parcela e 90 m² por tratamento. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial, com 12 tratamentos, 5 repetições e 3 mecanismos de aplicação, totalizando 60 unidades experimentais. Para cada produto utilizado havia uma testemunha comparativa, devido à heterogeneidade da área, declividade e fluxo de escoamento (Apêndice A), desta forma garante melhor comparação entre os produtos e parcelas sem aplicação.

A aplicação dos tratamentos foi realizada via pulverização no sulco de semeadura, posicionamento e garantia de menor oscilação de temperatura e umidade, com o auxílio de pulverizador costal pressurizado a CO₂, barra com bico cone ajustado 30 psi e volume de calda de 100 L ha⁻¹. Os tratamentos Testemunhas receberam apenas água, os dados referentes à aplicação encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Dados referentes às condições climáticas no momento da aplicação dos tratamentos. Lavras-MG, 2022.

Horário	T (°C)	UR (%)	V.V (m s ⁻¹)	Neb
13:00 - 14:00	27,0	72,0	0,1	Céu nublado

°C: graus Celsius; %: porcentagem; m s⁻¹: metros por segundo; Temp: temperatura; UR: umidade relativa do ar; V.V: velocidade do vento; Neb. nebulosidade.

Fonte: Estação experimental Empresa de Pesquisa e Desenvolvimento Agroteste, 2022.

As variáveis analisadas na cultura do feijoeiro comum com ação de condicionador de solo e promotor de crescimento, foram, altura de plantas (ALTP 25 e R5), massa fresca de plantas (MFP 15 e R5), massa seca de plantas (MSP 15 e R5), massa fresca de raiz (MFR 15 e R5), massa seca de raiz (MSR 15 e R5), análise de nutrientes foliar e componentes de produção e produtividade de grãos (PROD).

As informações a respeito dos períodos entre as avaliações dos ensaios de feijoeiro comum em condições de campo estão caracterizadas no Quadro 1.

Quadro 1. Informações referentes às épocas das avaliações realizadas ao longo do ciclo do feijoeiro comum, Lavras, 2021.

Altura de Plantas, Massa fresca e seca de plantas, massa fresca e seca de raiz	
Intervalo	Estádio Fenológico
15 DAE	V2-V3
25 DAE	V5
40 DAE	R5
Análise Nutricional Foliar	
40 DAE	R5
Produtividade	
92 DAS	R9

DAE: Dias após a emergência; DAS: Dias após a sementeira/ aplicação dos tratamentos; V2, V3, V5, R5, R9: Estádio de desenvolvimento fenológico da cultura do feijoeiro comum. Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Para avaliação da altura de plantas, foram escolhidas aleatoriamente 10 plantas pertencentes à área útil de cada parcela e mensurada com auxílio de régua graduada tomando como referência o colo e o ápice da planta. A determinação de produtividade foi realizada com a colheita de 2 linhas de 5 m cada na área útil da parcela. As plantas foram colhidas manualmente, a umidade dos grãos foi aferida e posteriormente determinado o peso de mil grãos. O peso total de grãos colhidos foi extrapolado para kg ha^{-1} a 13% de umidade.

A amostragem para diagnose foliar procedeu em horário ameno do dia, para cada parcela dos experimentos, foi coletado vinte trifólios, no estágio fenológico R6 em florescimento pleno, foi misturado todos os trifólios, dispostos em sacos de papel devidamente identificados com a correspondência de cada parcela e foram encaminhadas para laboratório de análises foliares agrícolas da região, foi determinado o teor de nutrientes presentes no tecido vegetal, para determinação de teores totais dos nutrientes Nitrogênio (N); Fósforo (P); Potássio (K); Cálcio (Ca); Magnésio (Mg); Enxofre (S); Boro (B); Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) para reconhecimento do estado nutricional da cultura do feijoeiro comum, o laboratório utilizou a metodologia proposta por Malavolta et. al (1987), os resultados são expressos em gramas por quilo (g/kg), para os macronutrientes e em miligramas por quilo (mg/kg) para os micronutrientes.

Os dados foram verificados previamente quanto à normalidade e homogeneidade da variância do erro e, posteriormente, submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade. As comparações das médias foram realizadas pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$), as análises foram realizadas utilizando o *software* RStudio e os pacotes foram *Tidyverse*, organização dos dados e gráficos; *Dharma e Performance*: checar os pressupostos de homocedasticidades,

normalidade e outliers; *Easyanova*, *multcomView*, *emmeans*, *multcomp*, *agricolae*: Anova e Testes de comparação de médias. *FactorMinerR*; *Factoextra*: Análise de componentes principais.

As variáveis que precisaram ser transformadas para atender os pressupostos foram: MFR-R5; MSP-R5; P; Ca e Fe.: $\log(x)$ S; K: *Box-cox*; ALTP 25; ALTP R5 e PROD: Inversa (hiperbólica de primeira ordem, ou recíproca) $\lambda = -1$ (OSBORNE, 2010)

Variáveis que foram significativas e avaliadas em esquema fatorial: MFR-15; MSP-15; MSR-15; B; Ca; Cu; K, P, S, Zn e Mn. Variáveis que foram significativas e avaliadas como DBC (não houve interação entre os fatores modo de aplicação dos bioprodutos): ALTP-25; ALTP-R5; Fe, Mg e PROD. Os dados apresentados nas figuras são os dados de médias originais.

2.2 INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS DE DESEMPENHO DE BIOCONTROLE SOBRE O PATÓGENO DO FUNGO CAUSAL *R. solani* A CULTURA DO FEIJOEIRO

Os ensaios *in vitro* foram conduzidos no Laboratório de Controle Biológico e os ensaios *in vivo* em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Fitopatologia (DFP) da Universidade Federal de Lavras, no ano de 2022.

2.2.1 *Microrganismo fitopatogênico e preparo do inoculo*

O inóculo utilizado foi previamente isolado da cultura da batata e pertencente ao acervo micológico do Laboratório de Micologia do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG. O inoculo de *R. solani*, foi mantido em meio de cultura Batata-Dextrose-Agar (BDA), em placas de Petri e fotoperíodo de 12 h a 25°C. Para obtenção e formação de escleródios, estrutura de resistência do patógeno, o fungo foi repicado em placas com meio BDA, as quais foram mantidas em câmara incubadora (BOD - Demanda Bioquímica de Oxigênio), a 25°C, até formação das estruturas de resistências, escleródios do fungo.

2.2.2 *Desempenho de biocontrole in vitro de microrganismos, metabólitos, isolados e em combinação sobre o crescimento micelial, número e peso de escleródios de R. solani*

Um escleródio de *R. solani*, foi disposto em um ponto central da placa de Petri com 9 cm, contendo 15 mL de meio BDA. As placas foram mantidas nas câmaras por um período de 15 dias para a avaliação do número de escleródios produzidos. Realizou-se a distribuição

de um escleródio em cada placa de Petri, preenchidas com meio BDA e posteriormente estas foram incubadas em câmara de crescimento. A avaliação do crescimento micelial foi realizada medindo-se dois eixos do diâmetro das colônias (x e y) diariamente, até o patógeno alcançar a borda das placas no tratamento com água/ sem produto ou até 72 horas após a instalação dos experimentos. O cálculo da porcentagem de inibição do crescimento micelial foi realizada a partir da fórmula adaptada de Menten et al (1976) em que:

$$ICM = \frac{CTC - CT}{CTC}$$

Onde: ICM = Porcentagem de inibição do crescimento micelial. CTC: Crescimento da testemunha controle CT: Crescimento do tratamento.

Os tratamentos onde não obtiveram inibição de crescimento e valores negativos, recebem valor zero. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), com sete tratamentos, sendo eles: SPA metabólito; SPA microrganismo; SPR metabólito; SPR microrganismo; SPT metabólito, SPT microrganismo e a testemunha controle com cinco repetições. Cada unidade amostral foi constituída de uma placa de Petri. O ensaio de crescimento micelial de *R. solani* foi realizado em três experimentos independentes em espaço de tempo.

Para a avaliação da atividade de biocontrole sobre o número de escleródios foram realizadas após 15 dias de repicagem em placas de Petri, mantidas em fotofase de 12 h a 25°C. Foram conduzidos três experimentos em espaço de tempo. A avaliação procedeu em contabilizar o número de escleródios formados.

Os dados foram analisados por meio de comparação de médias de Tukey a 5% de probabilidade entre os tratamentos e testemunha, as análises foram realizadas utilizando o *software* RStudio, os dados de peso de escleródios foram transformados por log (*x*).

2.2. 3 Desempenho de biocontrole in vivo de microrganismos, metabólitos, isolados e em combinação sobre o tombamento e severidade de *R. solani*

A avaliação *in vivo* foi conduzida em casa de vegetação. Foi utilizada a cultivar de feijoeiro comum, BRS Estilo, indicada por ser suscetível ao patógeno. Foi utilizado vasos de plásticos com capacidade de 3 litros contendo proporção de 1:1:1, substrato comercial + areia + solo de mata, área não cultivada.

Para a obtenção do inóculo, o fungo foi cultivado em meio de cultura BDA, para a formação da quantidade de escleródios necessários para a instalação do ensaio.

Foram dispostos cinco escleródios por vaso e, iniciou-se a avaliação aos 4 dias após a semeadura, momento em que começaram a emergir do solo, caracterizando avaliações de número de plantas emergidas e velocidade de emergência.

Foram dispostas 8 sementes de feijão por vaso. As aplicações dos tratamentos foram realizadas no mesmo dia da semeadura e instalação do ensaio,

Foi preparado covas de 2-3 cm de profundidade, dispendo as sementes + escleródios de *R. solani* e aplicação dos tratamentos de biocontrole com auxílio de um borrifador, aplicação diretamente sobre a semente, simulação de aplicação em sulco de semeadura em condições de cultivo a campo.

O delineamento foi inteiramente casualizado com cinco repetições, 11 tratamentos (incluindo a testemunha - água), cada vaso representou uma repetição.

A avaliação de tombamento de plantas de feijoeiro iniciou a partir dos sete dias, onde foi contabilizado a primeira plântula tombada.

Tombamento de mudas (%): O tombamento de mudas foi avaliado diariamente através dos sintomas apresentados, tendo visto que ao 4º dia DAS já havia sinais de pleno desenvolvimento do patógeno Crescimento de plantas aos 15 dias após a semeadura (15 DAS): após o encerramento do experimento quando as mudas estavam com 15 dias de desenvolvimento, cada muda foi delicadamente retirada do solo e suas raízes foram lavadas para que se pudesse efetuar a avaliação, que foi realizada com o auxílio de uma régua graduada.

2.2.4 Análise de dados

Os dados obtidos das avaliações foram submetidos à análise de variância (Teste F), com o teste de homogeneidade, e as médias dos tratamentos, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade no *software* estatístico R Studio.

Os dados de incidência da doença diários (dos 5 ao 14 DAE) foram usados para cálculo da área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) (Shaner e Finney, 1977).

3 RESULTADOS

A caracterização dos produtos SPA; SPR e SPT, como agentes de biocontrole formulados apresentam em suas propriedades, maior interação da biomassa com microrganismos decompositores, melhorias no desenvolvimento da cultura, maiores

respostas na mineralização e equilíbrio nutricional, permite o desenvolvimento das plantas de maneira uniforme, proteção do sistema radicular capazes de promover a atividade e desenvolvimento da rizosfera e conseqüentemente melhorias na qualidade e produção.

Experimentos de desempenho agrônômico para a cultura do feijoeiro comum

A aplicação dos bioprodutos SPA, SPR e SPT via aplicação de metabólito, microrganismo, formulado comercial, nas doses de 2 L ha⁻¹, via aplicação em sulco de plantio não ocasionou sintomas de fitotoxicidade aparente no desenvolvimento das sementes.

A temperatura média durante a condução do experimento oscilou entre 18,2 a 30,6 °C, mantendo-se dentro do intervalo favorável ao patógeno, 18°C a 28°C, com temperatura ótima a 25°C. A umidade relativa do ar média oscilou de 21 a 43%.

Para as variáveis: Macronutriente, Nitrogênio (N), massa seca de plantas R5; massa fresca e seca de raiz R5, foram submetidas aos testes de normalidade e homocedasticidade, posteriormente realizou Análise de Variância (ANOVA) e não se diferiram estatisticamente ($p \leq 0,05$), os dados destas variáveis analisadas não foram submetidos ao teste de comparação de médias.

O método exploratório, análise de componentes principais (PCA) (Figura 3), nota-se que o componente 1, explica 17,8% da variabilidade total; o componente 2 explicou, 17,7%, sendo que juntos explicam uma percentagem da variação padrão total de 35,5%, acumulado em ordem significativa similar dos dados.

No geral, as variáveis com os terminais vetoriais distantes da origem contribuem de forma relativa a maior interação quando comparado com as variáveis vetoriais que estão próximas à origem. As variáveis que estão dispostas por proximidade nos gráficos coincidem com padrões com interação entre si, quando observadas as direções opostas, corresponde correlação negativa entre as variáveis em questão.

Na PCA geral das variáveis e os tratamentos com os bioprodutos, SPA; SPR e SPT, pode-se verificar que os componentes de fenótipos da cultura do feijoeiro comum, Altura de Plantas 15 e 25 DAS, Massa Seca de Plantas são correlacionados positivamente entre si. O elemento Zinco (Zn) apresentou alta correlação com a altura das plantas. Da mesma forma, pode-se observar que esse nutriente tende a ser correlacionado negativamente com os nutrientes Fósforo (P); Boro (B); Magnésio (Mg); Manganês (Mn) e Cálcio (Ca).

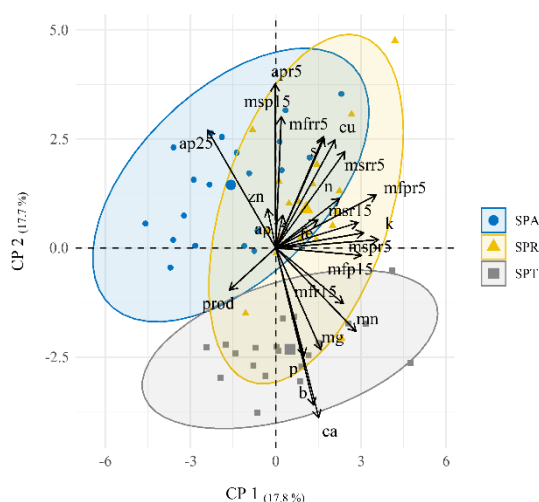


Figura 3. Biplot das vinte e duas variáveis analisadas nos experimentos conduzidos em condições de campo da cultura do feijoeiro-comum sem a presença do patógeno *R. solani*. Ca: cálcio; Mg: magnésio; Mn: manganês; P: fósforo; Zn: zinco; Fe: ferro; B: boro; prod: produtividade; apr5: altura de plantas em estágio fenológico R5; K: potássio; msrr5, mafrr5: massa seca e fresca de raiz em estágio fenológico R5; S: enxofre; N: nitrogênio.

A exploração preliminar do bioproduto SPA (*Bacillus*), apresentada na PCA isolada dos demais bioprodutos (Figura 4), são exibidos de forma simultânea todas as variáveis analisadas e os tratamentos. Observa-se algumas interações, com destaque para variáveis dentro do tratamento microrganismo destacou sensibilidade para todas as variáveis, diferentemente do tratamento com metabólitos que caracterizou para apenas um determinado grupo, como apresentado na figura. O tratamento formulado, combinação entre metabólito e microrganismo caracterizou quantidade de interações semelhantes ao tratamento isolado de microrganismo.

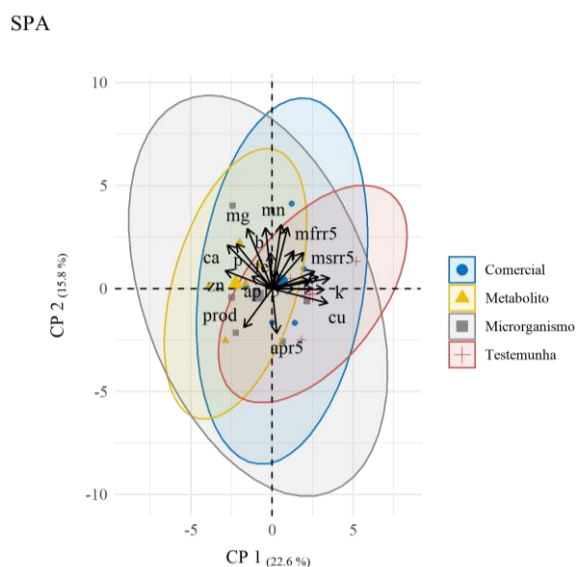


Figura 4. Gráfico biplot com quatorze variáveis de características agrônômicas de eficiência da bioproduto SPA com aplicação de metabólitos, microrganismos isolados e em combinação (comercial) e testemunha sem aplicação. Ca: cálcio; Mg: magnésio; Mn: manganês; p: fósforo; Zn: zinco; Fe: ferro; B: boro; prod: produtividade; apr5: altura de plantas em estágio fenológico R5; K: potássio; msrr5, mafrr5: massa seca e fresca de raiz em estágio fenológico R5.

Ao analisar o gráfico *biplot* para o bioproduto SPR (*Bacillus* + *Trichoderma*), (Figura 5), a interação é disposta de forma simétrica entre os produtos comerciais e metabólito, quando observado o tratamento com microrganismos, são estimados de lados opostos, com interações e padrões com correlação negativa.

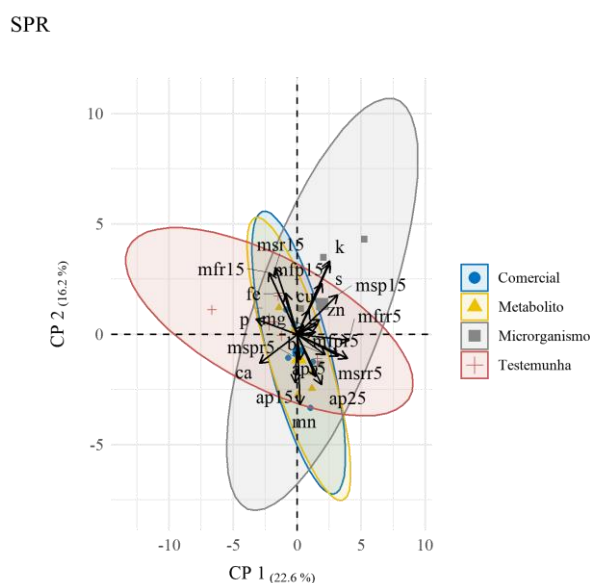


Figura 5. Gráfico *biplot* com 22 variáveis de características agrônômicas de eficiência da bioproduto SPR com aplicação de metabólitos, microrganismos isolados e em combinação (comercial) e testemunha sem aplicação. Ca: cálcio; Mg: magnésio; Mn: manganês; p: fósforo; Zn: zinco; Fe: ferro; B: boro; prod: produtividade; apr5: altura de plantas em estágio fenológico R5; K: potássio; msrr5, mafrr5: massa seca e fresca de raiz em estágio fenológico R5.

Interpretando a PCA do bioproduto SPT (*Trichoderma*) (Figura 6). A interação do metabólito aplicado de forma isolada, são com maior sensibilidade de todas as variáveis analisadas, este tratamento apresentou correlação negativa entre as variáveis B e ALTP15. O tratamento microrganismo teve baixa relação para as variáveis com padrão não relacionado entre eles.

SPT

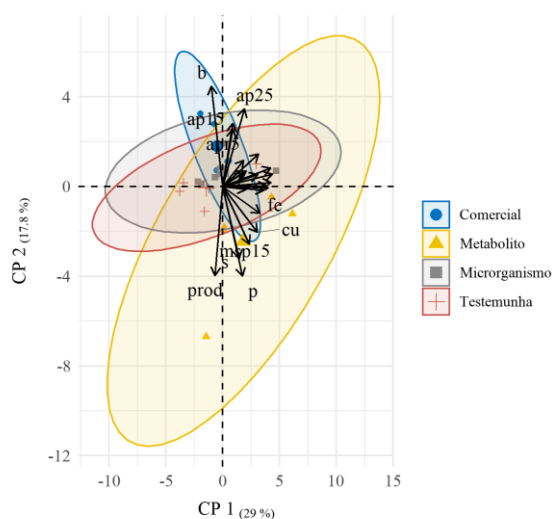


Figura 6. Gráfico *biplot* com dez variáveis de características agrônômicas de eficiência da bioproduto SPT com aplicação de metabólitos, microrganismos isolados e em combinação (comercial) e testemunha sem aplicação. Ca: cálcio; Mg: magnésio; Mn: manganês; p: fósforo; Zn: zinco; Fe: ferro; B: boro; prod: produtividade; apr5: altura de plantas em estágio fenológico R5; K: potássio; msrr5, mafrr5: massa seca e fresca de raiz em estágio fenológico R5.

Os testes de comparação de média, por intermédio da técnica inferencial, são possíveis observar as respostas das variáveis dos ensaios conduzidos em condições de campo para a cultura em estudo. Dados apresentados das Figuras 3 a 22.

A aplicação dos produtos SPA, SPR e SPT independentes da forma de aplicação, na dose de 2 L ha⁻¹, proporcionou aumento significativo ($p \leq 0,05$) na altura de plantas de feijoeiro em relação ao tratamento Testemunha nas avaliações de ALTP realizadas aos 25 DAS e estágio fenológico R5 (Figuras 7 e 8). O tratamento SPA proporcionou maior altura de plantas com relação aos demais tratamentos de controle biológico (25DAS). Na avaliação em estágio de florescimento R5, o produto SPR, destacou-se dos demais tratamentos. O tratamento com bioproduto SPT na avaliação ALTP em R5 apresentou menor parâmetro da variável de altura de plantas.

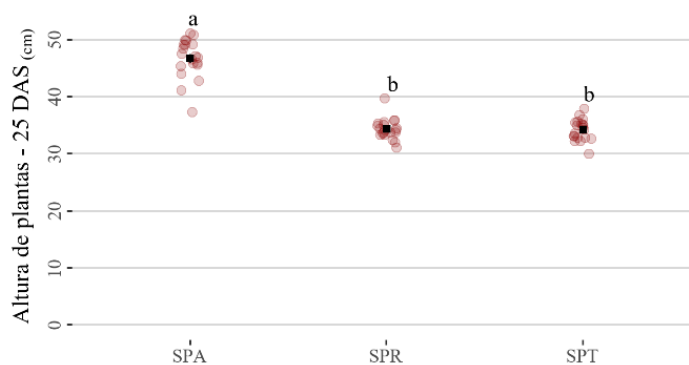


Figura 7. ALTP-25DAS. Comparação de média entre os fatores produto SPA; SPR e SPT. Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As barras de erro representam o erro padrão da média.

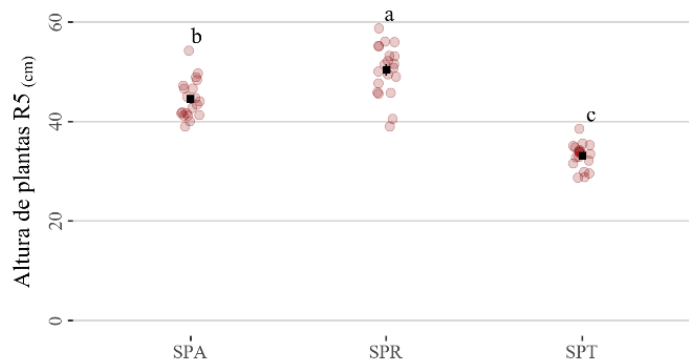


Figura 8. ALTP-R5. Comparação de média entre os fatores produtos SPA; SPR e SPT. Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As barras de erro representam o erro padrão da média.

Em relação a variável MSP – 15 DAS, houve diferença estatística entre os tratamentos ($p \leq 0,05$) (Figura 9A), destaque para os tratamentos SPA, semelhante estatisticamente ao tratamento com SPR. Para a interação entre os fatores de modo de aplicação dos produtos houve diferença estatística entre eles ($p \leq 0,05$; Figura 9B). Quando observado a comparação entre os bioprodutos SPA; SPR e SPT e suas aplicações, destacaram-se as melhores combinações do tratamento comercial para SPA e SPR, superior ao SPT, via aplicação de metabólito, todos os tratamentos foram semelhantes entre si, o SPR microrganismo foi superior aos demais tratamentos SPA e SPT.

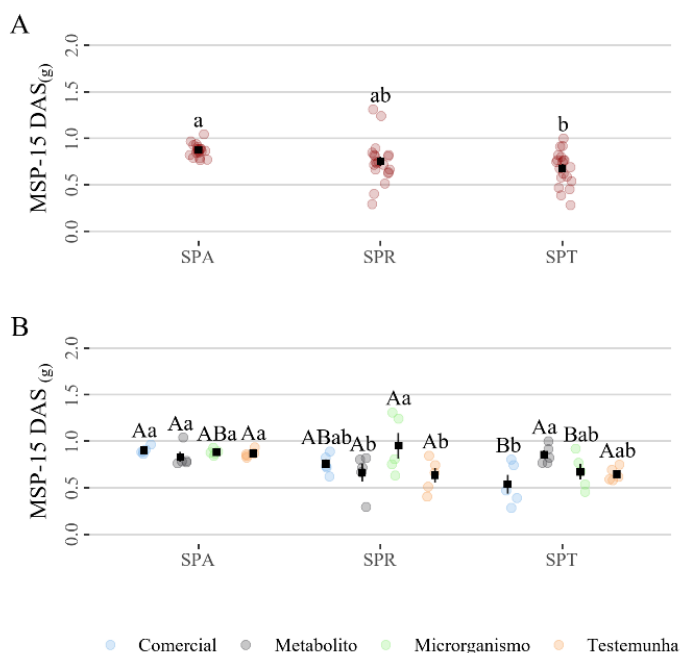


Figura 9. Variável Massa Seca de Plantas (g) - 15 DAS; A: Comparação de médias entre os tratamentos com os bioprodutos SPA; SPR e SPT; B: Interação entre os fatores produtos SPA; SPR e SPT e formas de aplicação, comercial, metabólito, microrganismo e testemunha sem aplicação. Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, letras maiúsculas comparam bioprodutos e aplicação; letras minúsculas, diferem os métodos de aplicação do mesmo bioproduto. As barras de erro representam o erro padrão da média.

A avaliação de MFR-15 DAS foi afetada positivamente pela aplicação dos tratamentos ($p \leq 0,05$), (Figura 10A) observa-se que para o bioproduto SPT foi superior aos demais tratamentos, o SPR foi estaticamente semelhante aos bioprodutos SPA e SPT, por conter em sua formulação a ação dos dois agentes de biocontrole *Trichoderma* + *Bacillus*.

Com relação a interação entre os bioprodutos e as aplicações observa para o bioproduto SPA, independente da forma de aplicação, semelhanças estaticamente, com diferença apenas para aplicação do formulado comercial, as formas isoladas dos produtos proporcionou maiores massa fresca de raiz aos 15 após a semeadura, a mesma característica para o tratamento com o bioproduto SPR, o bioproduto SPT, independente da forma de aplicação, foram semelhantes estaticamente quando utilizado microrganismo, metabólitos e combinação entre eles, formulado comercial (Figura 10B).

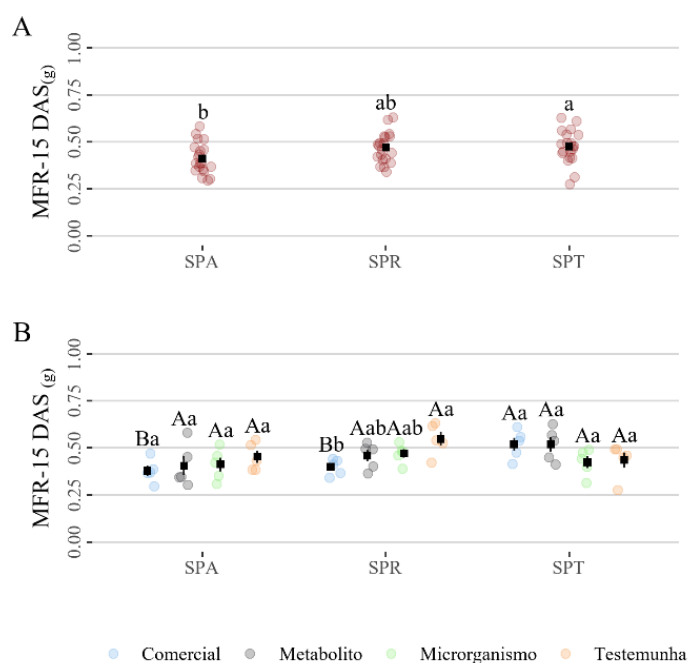


Figura 10. MFR-15 DAS: Massa Fresca de Raiz (g) aos 15DAS. A: Análise de comparação de médias dos bioprodutos SPA; SPR e SPT. B: Comparação entre os fatores produto e método de aplicação. Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, letras maiúsculas comparam bioprodutos e aplicação; letras minúsculas, diferem os métodos de aplicação do mesmo bioproduto. As barras de erro representam o erro padrão da média.

Na avaliação de MSR-15, observou-se diferenças estatísticas entre os tratamentos ($p \leq 0,05$), (Figura 11A) em que, a aplicação de SPR, proporcionou as maiores médias com relação aos demais tratamentos. A mesma variável quando avaliadas a comparação de médias entre os modos de aplicação do produto constatou-se que não houve diferenças significativas entre aplicar metabólito, microrganismo ou formulado comercial. A testemunha apresentou características superiores estatisticamente aos bioprodutos (Figura 11B).

Em relação a análise de interação de produtos e modo de aplicação dos produtos (Figura 11C), observa que para o SPA, não possui diferenças significativas ($p > 0,05$) entre metabólito, microrganismo e formulado comercial. Para o bioproducto SPR houve interação entre as aplicações, sendo este superior aos demais tratamentos.

O bioproducto SPT, independente da forma de aplicação, não houve diferenças estatísticas ($p > 0,05$) entre os seus usos, semelhante a testemunha controle. Para SPA (*Bacillus*) as aplicações de microrganismos, metabólitos e comercial foram inferiores à testemunha. A aplicação comercial e de microrganismo SPR, proporcionou incrementos da MSR-15DAS (Figura 7C).

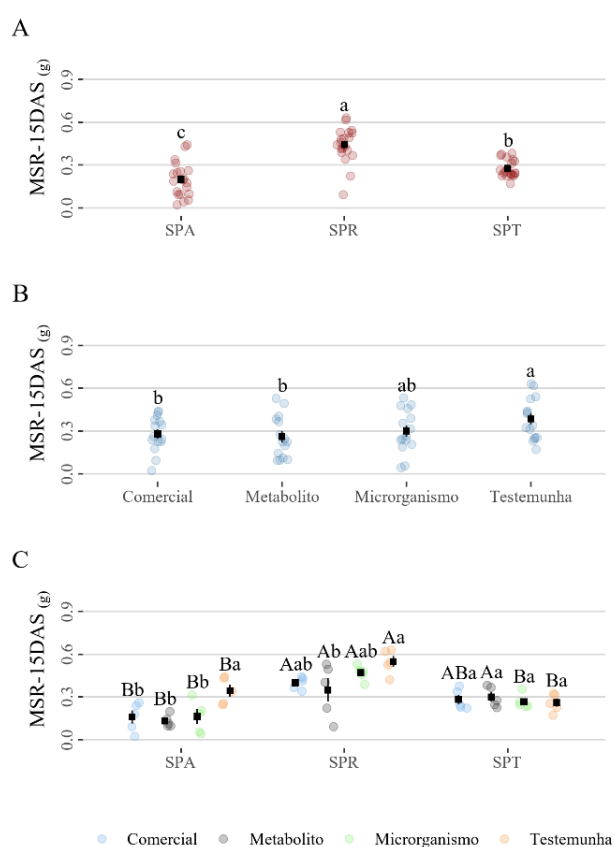


Figura 11. Massa Seca de Raiz (g) aos 15DAS. Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam bioproductos e aplicação; letras minúsculas, diferem os métodos de aplicação do mesmo bioproducto. As barras de erro representam o erro padrão da média.

A análise foliar de Fósforo (P), os tratamentos com os bioproducto foram estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$), o tratamento com SPT foi superior ao tratamento SPA e estatisticamente semelhante ao tratamento SPR (Figura 12A).

Para a análise de interação dos bioprodutos e os diferentes métodos de aplicação via metabólitos, microrganismo e combinação via comercial/ formulado, apresentou características estatísticas diferentes ($p \leq 0,05$) (Figura 12B).

Os bioprodutos aplicada via formulado, independente do ingrediente ativo foram semelhantes entre si, estatisticamente ($p > 0,05$), para aplicação dos metabólitos observa-se que o comportamento do tratamento com SPT foi superior aos demais tratamentos, para os tratamentos combinados com microrganismo não houve diferenças entre os bioprodutos (Figura 12B).

O método de aplicação para o bioproduto SPA (*Bacillus*) não apresentou diferenças estatísticas (Figura 12B). Para SPR (*Bacillus + Trichoderma*), a aplicação via combinação de metabólito e microrganismo, via formulado apresentou superioridade entre as demais aplicações. SPT metabólito caracterizou com melhor performance quanto o método de aplicação para os teores nutricionais foliares de Fósforo na cultura do feijoeiro comum (Figura 12B).

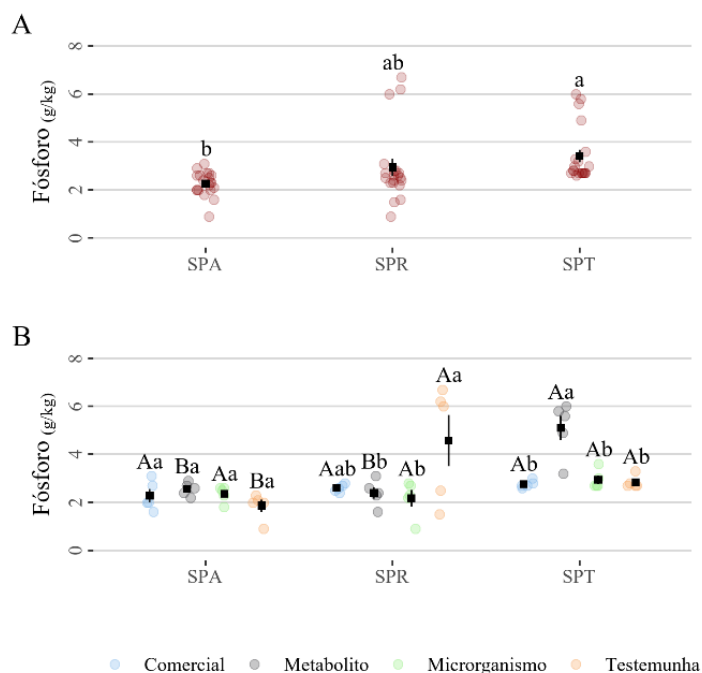


Figura 12. Análise nutricional foliar de feijoeiro comum. Macronutriente Fósforo (P). (A): Comparação de médias dos produtos SPA; SPR e SPT. (B): Comparação de médias, interação dos produtos SPA; SPR e SPT e formas de aplicação, formulado comercial, metabólito, microrganismo e testemunha padrão (água). Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam bioprodutos e aplicação; letras minúsculas, diferem os métodos de aplicação do mesmo bioproduto. As barras de erro representam o erro padrão da média.

Para variável de análise nutricional foliar do nutriente Potássio (K). O teste de comparação de médias entre os produtos foi significativo ($p \leq 0,05$) (Figura 13A). O tratamento com SPR foi semelhante estatisticamente ao SPT. O tratamento SPA, independente da forma de aplicação, foi inferior ao teor de potássio presente nas folhas. Houve interação significativa entre os produtos SPA, SPR e SPT e suas aplicações via metabólito, microrganismo, formulado (comercial) e testemunha (Figura 13B).

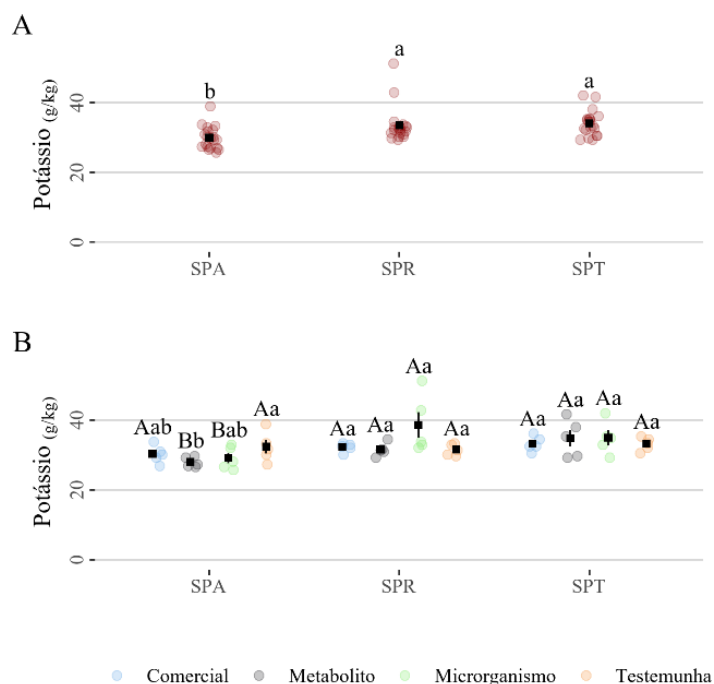


Figura 13. Análise nutricional foliar de feijoeiro comum. Macronutriente Potássio (K). (A): Comparação de médias dos produtos SPA; SPR e SPT. (B): Comparação de médias, interação dos produtos SPA; SPR e SPT e formas de aplicação, formulado comercial, metabólito, microrganismo e testemunha padrão (água). Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam bioprodutos e aplicação; letras minúsculas, diferem os métodos de aplicação do mesmo bioproduto. As barras de erro representam o erro padrão da média.

Para a variável de análise foliar Cálcio (Ca) em feijoeiro comum, foi observado diferenças estatísticas entre os bioprodutos SPA, SPR e SPT (Figura 14A), independente da forma de aplicação utilizada, seja ela via metabólitos, microrganismos e em combinação (formulado). Para este macronutriente essencial destacou-se o produto SPT (*Trichoderma* spp.) sendo superior aos demais bioprodutos e independente das formas de aplicações (Figura 14B).

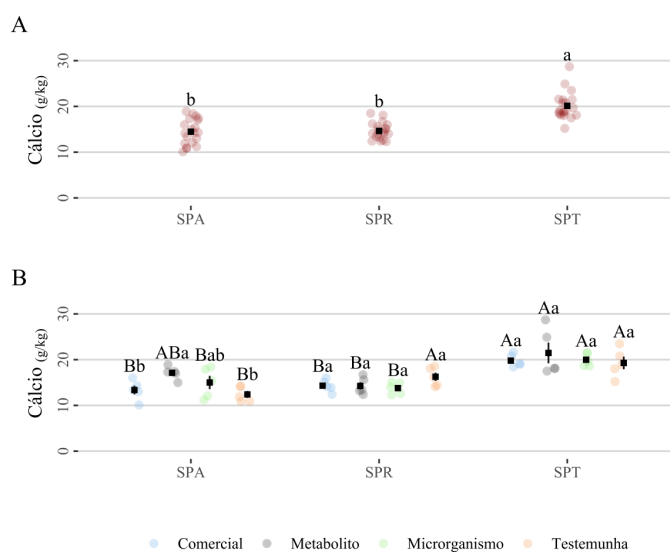


Figura 14. Análise nutricional foliar de feijoeiro comum. Macronutriente Cálcio (Ca). (A): Comparação de médias dos produtos SPA; SPR e SPT. (B): Análise de Interação entre bioprodutos x formas de aplicação, formulado comercial, metabólito, microrganismo e testemunha controle (água). Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam bioprodutos e aplicação; letras minúsculas, diferem os métodos de aplicação do mesmo bioproduto. As barras de erro representam o erro padrão da média.

Para a variável do macronutriente Magnésio (Mg) em análise foliar da cultura do feijoeiro comum, constatou-se diferenças estatísticas entre os tratamentos ($p \leq 0,05$) independente da aplicação via metabólito, microrganismo ou em combinação (formulado). O tratamento SPT proporcionou maiores teores de Mg foliar (Figura 15).

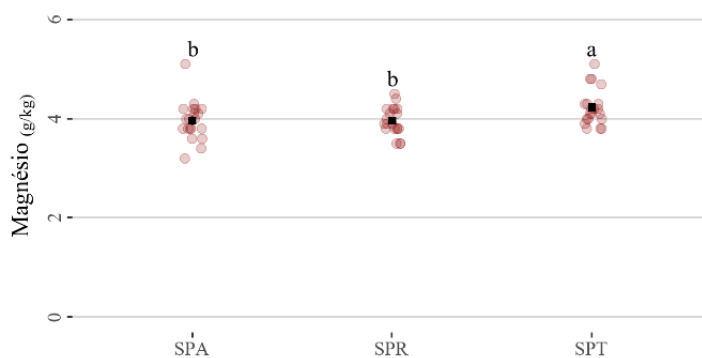


Figura 15. Análise nutricional foliar de feijoeiro comum. Macronutriente Magnésio (Mg). Comparação de médias dos bioprodutos SPA; SPR e SPT. Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A análise nutricional foliar de teores de Enxofre (S), obteve respostas significativas entre os bioprodutos ($p \leq 0,05$) (Figura 16A). SPA e SPR foram estatisticamente semelhantes entre si e superior ao bioproduto SPT.

Quando observado a forma de aplicação o produto comercial/ formulado foi inferior ao quando utilizado metabólito ou microrganismo de forma isolada, semelhantes à testemunha (Figura 16B).

Na interação dos fatores x modo de aplicação dos agentes de biocontrole, observa características promissoras ao uso *Bacillus* (SPA), *Bacillus* + *Trichoderma* (SPR) e *Trichoderma* (SPT). Para os bioprodutos SPA os métodos que obtiveram melhores teores de S em folhas de feijoeiro foi aplicação metabólito, quando combinados metabólito + microrganismo, via produto formulado, a aplicação do tratamento isolado de microrganismo obteve os menores teores do macronutriente. Para SPR, não resultaram diferenças estatísticas entre as diferentes aplicações dos tratamentos ($p > 0,05$). O bioproduto SPT, quando aplicados metabólitos e microrganismos em tratamentos isolados caracterizou melhores resultados de S superior ao tratamento comercial/ formulado (metabólito + microrganismo) (Figura 16C).

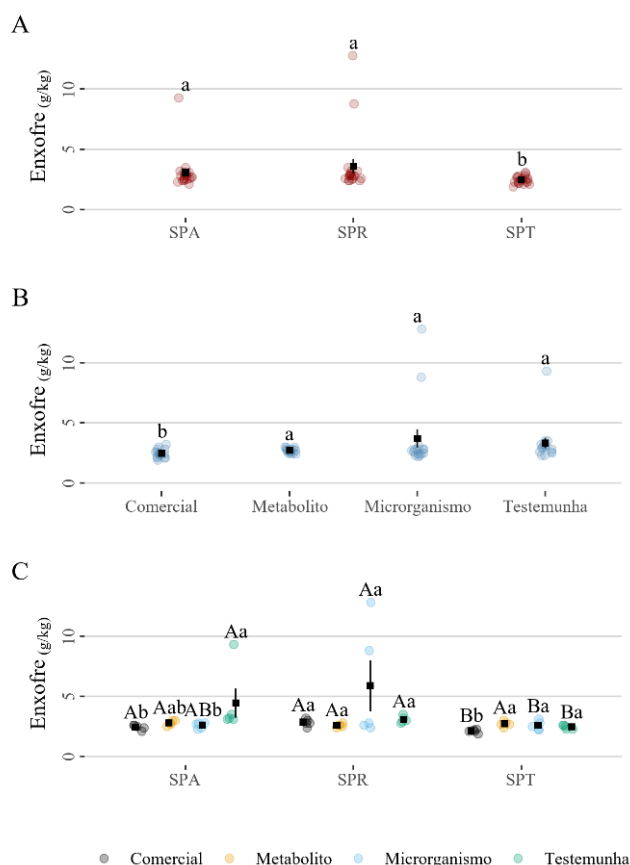


Figura 16. Análise nutricional foliar de feijoeiro comum. Macronutriente Enxofre (S). (A): Comparação de médias dos bioprodutos SPA; SPR e SPT. (B): Comparação de média do modo de aplicação (C): Análise de Interação entre bioprodutos x formas de aplicação, formulado comercial, metabólito, microrganismo e testemunha controle (água). Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam bioprodutos e aplicação; letras minúsculas, diferem os métodos de aplicação do mesmo bioproduto. As barras de erro representam o erro padrão da média.

Os teores de Boro (B), foi afetado positivamente pelos tratamentos ($p \leq 0,05$), o tratamento com o bioproduto SPT (*Trichoderma* spp.) foi superior aos demais tratamentos (Figura 17A). A aplicação do formulado comercial e metabólito de SPT proporcionou incrementos nos teores de B, destacando-se dos demais tratamentos e diferentes modos de aplicação (Figura 13B). Com relação a interação de aplicação e bioproduto, não houve diferenças estatísticas para SPA; SPR. Para SPT o metabólito foi inferior às demais aplicações, quando comparados com a testemunha (Figura 17B).

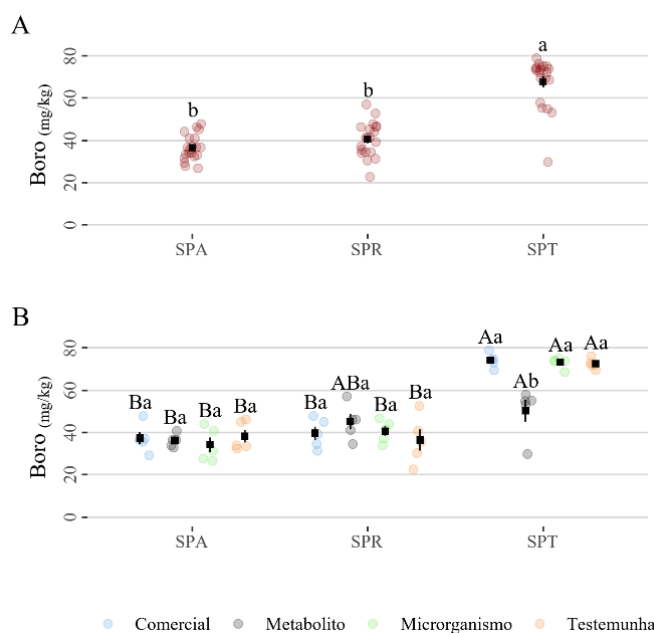


Figura 17. Análise nutricional foliar de feijoeiro comum. Micronutriente Boro (B). (A): Comparação de médias dos produtos SPA; SPR e SPT. (B): Análise de Interação entre bioprodutos x formas de aplicação, formulado comercial, metabólito, microrganismo e testemunha controle (água). Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam bioprodutos e aplicação; letras minúsculas, diferem os métodos de aplicação do mesmo bioproduto. As barras de erro representam o erro padrão da média.

Na avaliação do micronutriente Cobre (Cu) foi afetado significativamente ($p \leq 0,05$) pelos tratamentos avaliados neste estudo (Figura 18A). Para esta variável, os tratamentos SPA e SPR são semelhantes estatisticamente e superiores ao tratamento SPT. Quando analisado em esquema fatorial (Figura 18B). SPA obteve os melhores resultados via aplicação comercial; uso de metabólito proporcionou os menores teores de cobre, SPR: semelhantes estatisticamente. Para o bioproduto SPT: metabólito, microrganismos foram superiores ao comercial (microrganismo + metabólito), este com os menores teores de Cu.

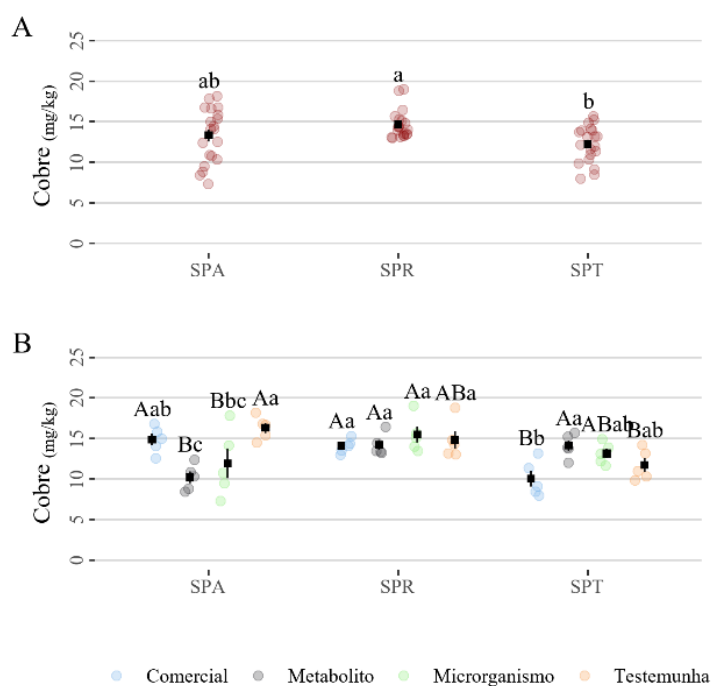


Figura 18. Análise nutricional foliar de feijoeiro comum. Micronutriente Cobre (Cu). (A): Comparação de médias dos produtos SPA; SPR e SPT. (B): Análise de Interação entre bioprodutos x formas de aplicação, formulado comercial, metabólito, microrganismo e testemunha controle (água). Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam bioprodutos e aplicação; letras minúsculas, diferem os métodos de aplicação do mesmo bioproducto. As barras de erro representam o erro padrão da média.

Os teores de Fe foliares na cultura do feijoeiro comum, foi afetado positivamente quando aplicados os tratamentos com os diferentes bioprodutos SPA; SPR e SPT (Figura 19).

Por intermédio da aplicação de SPR, independente da forma de aplicação, metabólito, microrganismo e formulado, foi superior ao tratamento SPT (*Trichoderma* spp.), e significativamente semelhante ao tratamento com bioproducto SPA (*Bacillus* spp.) (Figura 19). Não houve interação entre tratamento x aplicação.



Figura 19. Análise nutricional foliar de feijoeiro comum. Micronutriente Ferro (Fe). Comparação de médias dos produtos SPA; SPR e SPT. Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As barras de erro representam o erro padrão da média.

Os teores de Manganês (Mn) em análise foliar apresentaram diferenças estatísticas dos tratamentos, quando comparados entre si e pelas formas de aplicação dos produtos ($p \leq 0,05$) (Figura 20A). O SPR foi inferior aos demais tratamentos. O tratamento com microrganismos de forma isolada proporcionou os menores teores de Mn (Figura 20B).

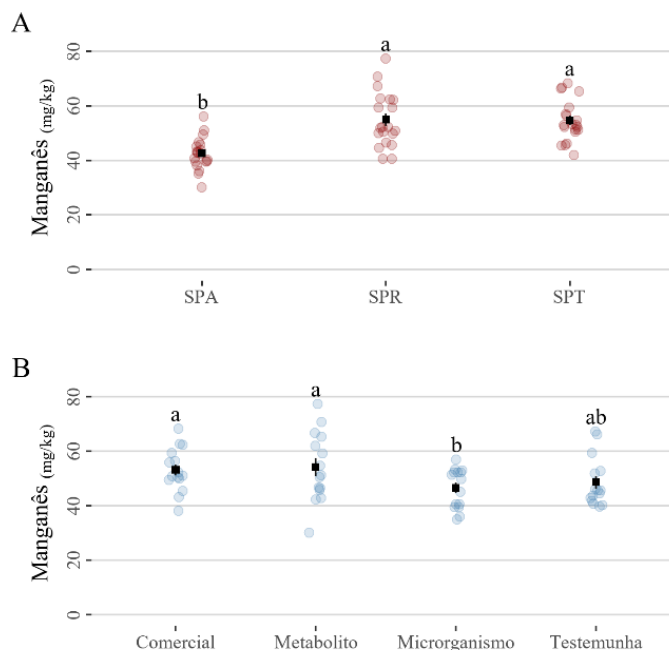


Figura 20. Análise nutricional foliar de feijoeiro comum. Micronutriente Manganês (Mn). (A): Comparação de médias dos produtos SPA; SPR e SPT. (B): Comparação de médias, entre formas de aplicação, formulado comercial, metabólito, microrganismo e testemunha controle (água). Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam bioprodutos e aplicação; letras minúsculas, diferem os métodos de aplicação do mesmo bioproduto. As barras de erro representam o erro padrão da média.

Quanto à análise de Zn foliar, os bioprodutos apresentaram diferenças estatísticas ($p \leq 0,05$). O tratamento SPA foi semelhante à aplicação do tratamento SPR, os mesmos apresentaram-se superiores ao tratamento com o bioproduto SPT (Figura 21A).

A interação entre os fatores bioprodutos x métodos de aplicação apresentou diferenças estatísticas entre os tratamentos ($p \leq 0,05$) (Figura 21B), para todas as aplicações do bioproduto SPA quando comparado com os demais foi apresentado os melhores teores de Zn. Para o bioproduto SPR, a aplicação via formulado/ comercial e metabólito isolado foi superior ao tratamento com microrganismo aplicado de forma isolada.

O tratamento com bioproduto SPT, apresentou o produto comercial com melhor eficiência, este tratamento apresenta a combinação de metabólitos e microrganismos, sendo superiores quando aplicado os tratamentos de formas isoladas. Quando observado os métodos de aplicação de todos os bioprodutos, independentemente de ser via metabólito,

microrganismo e combinação (comercial), apresentaram os mesmos teores de Zn em folhas de feijoeiro (Figura 21B).

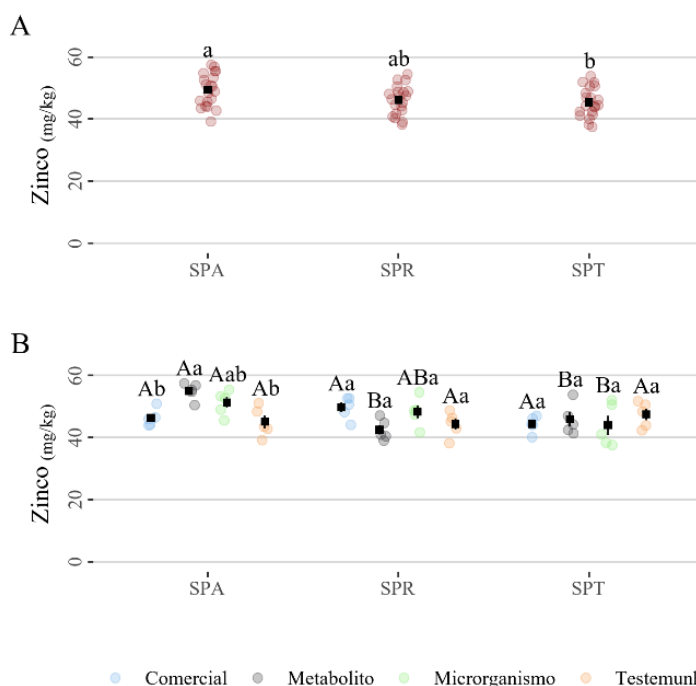


Figura 21. Análise nutricional foliar de feijoeiro comum. Micronutriente Zinco (Zn). (A): Comparação de médias dos produtos SPA; SPR e SPT. (B): Análise de Interação entre bioprodutos x formas de aplicação, formulado comercial, metabólito, microrganismo e testemunha controle (água). Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As barras de erro representam o erro padrão da média.

A produtividade da cultura do feijoeiro (kg/ ha) foi afetada significativamente pelos tratamentos ($p \leq 0,05$) (Figura 22A). Pode-se observar que o tratamento com bioproduto SPR, foi inferior aos demais tratamentos, caracterizado que a combinação de *Bacillus* + *Trichoderma* do bioproduto SPR, não proporciona maiores produtividades, e sim de formas isoladas.

O método de aplicação metabólito apresentou superioridade ao método com microrganismo, formulado. O uso de formulado comercial e microrganismos apresentou características estatísticas semelhantes à testemunha (Figura 22B).

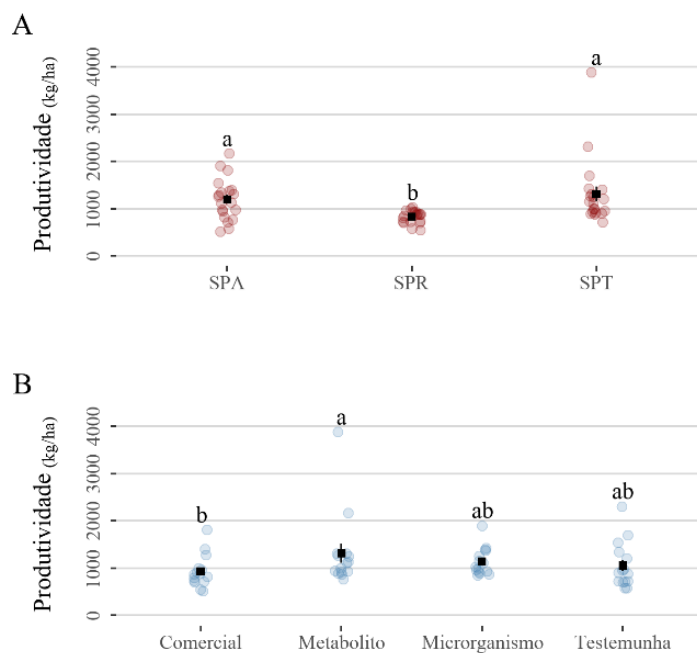


Figura 22. Produtividade de feijoeiro comum (kg/ha), submetidos aos bioprodutos SPA; SPR e SPT e formas de aplicação via metabólito, microrganismo isolados e em combinação (formulado comercial) (A): Comparação de médias dos produtos SPA; SPR e SPT. (B): Comparação das formas de aplicação dos bioprodutos. Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As barras de erro representam o erro padrão da média.

Desempenho de biocontrole in vitro de microrganismos, metabólitos, isolados e em combinação sobre o crescimento micelial de R. solani

Os testes de comparação de média, são possíveis observar as respostas das variáveis de crescimento micelial, número de escleródios, peso de escleródios, conduzidos *in vitro* no controle de *R. solani* são apresentados nas Figuras 23 a 28.

O crescimento micelial de *R. solani* foi significativamente ($p \leq 0,05$) inibido pelo tratamento SPR (microrganismo) ($p \leq 0,05$) contidos no meio de cultura, em comparação aos demais tratamentos no experimento 1 e 2, estes foram realizados em análise conjunta, pois não diferiram estatisticamente, após 24 horas de aplicação no meio de cultura (Figura 23A). No segundo experimento com os mesmos tratamentos, houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para o crescimento micelial de *R. solani*. Todos os tratamentos apresentaram crescimento micelial (mm) inferior à testemunha (Figura 23B).

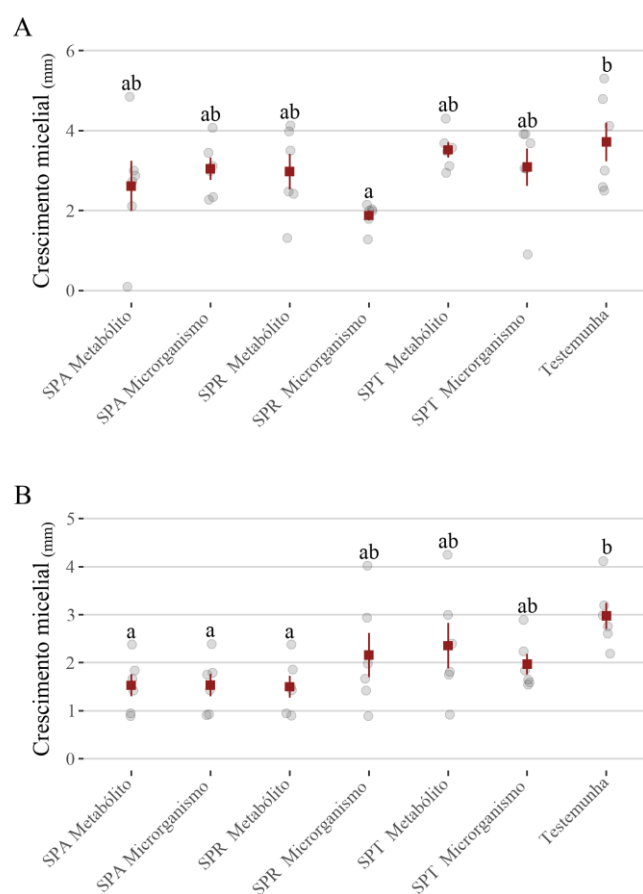


Figura 23. A, B: Avaliação dos efeitos de diferentes tratamentos de biocontrole no crescimento micelial de *R. solani* em meio de cultura. A inibição do crescimento micelial foi avaliada às 24 horas após adição dos bioprodutos ao meio de cultura. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, a triplicata C foi analisada e não atendeu os pressupostos de normalidade e homocedasticidade, não foi realizada análise de comparação de médias. A barra de erro apresenta o padrão médio do erro.

O crescimento micelial de *R. solani* na avaliação às 48 horas após a repicagem em cultivo *in vitro*, apresentaram diferenças estatística entre os tratamentos ($p \leq 0,05$) (Figura 24A). O SPR microrganismo para o crescimento micelial de *R. solani*, apresentou menor inibição nos três experimentos, quando comparado aos demais tratamentos, semelhante estatisticamente aos tratamentos SPR metabólito, SPT metabólito, SPT microrganismo. O tratamento SPA metabólito, microrganismo, apresentou o maior crescimento micelial, estatisticamente igual à testemunha para o primeiro experimento. Para a combinação dos dados do experimento 2 e 3 (Figura 24B), obtiveram resultados diferentes, com similaridade estatística entre os tratamentos SPA, SPR microrganismo e metabólito isoladamente, o SPT, metabólito e microrganismo apresentou crescimento micelial semelhante a testemunha (água) e tratamentos SPA e SPT.

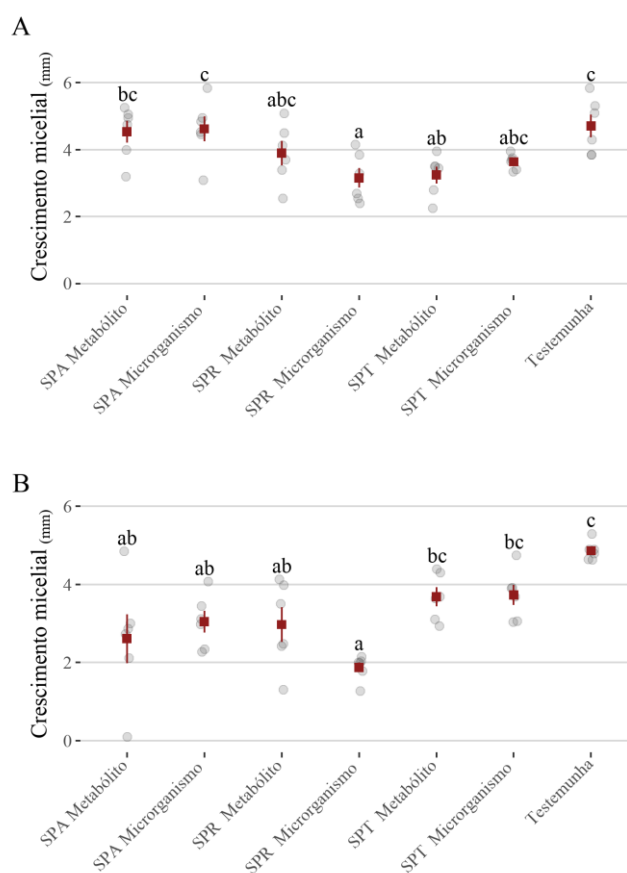


Figura 24. Efeito de diferentes tratamentos de biocontrole no crescimento micelial de *R. solani* em meio de cultura. A inibição do crescimento micelial foi avaliada às 48 horas após adição dos bioprodutos ao meio de cultura. Os experimentos 1 e 2 (replicata), foram realizadas análise conjunta. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A barra de erro apresenta o padrão médio do erro.

Após 72 horas na avaliação do crescimento micelial do patógeno de solo *R. solani* (Figura 25). Os tratamentos SPT metabólito SPT microrganismo, foram estatisticamente superiores aos demais tratamentos, com maior crescimento micelial de *R. solani* (Figura 25). Entretanto os demais tratamentos apresentaram semelhanças estatísticas, com características de um bom desempenho na competição por espaço e nutriente em cultivo *in vitro*, com impedimento do crescimento da colônia do patógeno.

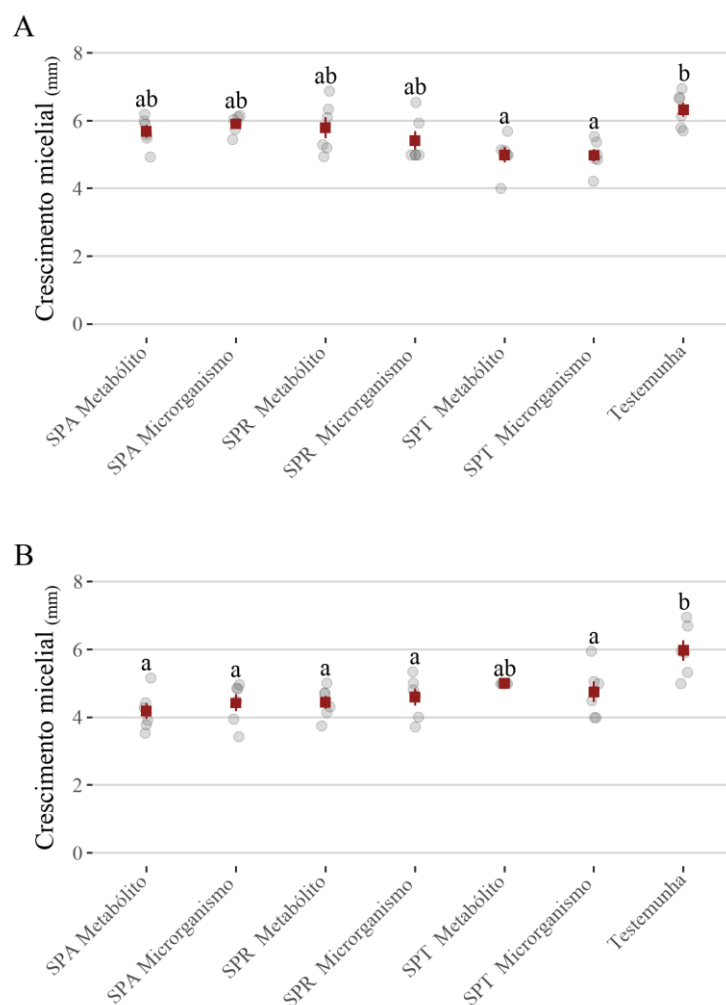


Figura 25. A, B: Experimentos 1 e 2, os valores médios foram obtidos por análise conjunta dos dois experimentos, avaliação dos efeitos de diferentes tratamentos de biocontrole no crescimento micelial de *R. solani* em meio de cultura. A inibição do crescimento micelial foi avaliada às 72 horas após submeter o escleródio + adição dos bioprodutos ao meio de cultura. Os experimentos 1 e 2 (replicata), foram realizadas análise conjunta. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A barra de erro apresenta o padrão médio do erro.

Desempenho de biocontrole in vitro de microrganismos, metabólitos, isolados e em combinação sobre o número e peso de escleródios de *R. solani*

Observou-se que todos os tratamentos com biocontrole testados demonstraram efeito antagônico significativo sobre o número de escleródios de *R. solani*, quando comparados com o tratamento testemunha controle ($p \leq 0,05$) (Figura 26).

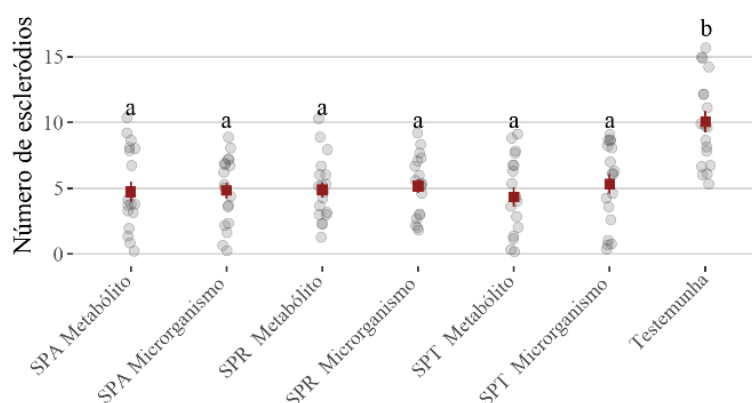


Figura 26. Influência dos tratamentos submetidos aos testes *in vitro* com SPA metabólito, SPA microorganismo, SPR metabólito; SPR microorganismo; SPT metabólito e SPT microorganismo no desenvolvimento de escleródios de *R. solani* em cultivo *in vitro*. Os tratamentos foram aplicados no meio de cultura, no tratamento controle, apenas água foi aplicada. Para os três experimentos, foi realizada análise conjunta. Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As barras de erro representam o erro padrão da média.

Para a variável Peso de escleródios (g), verificou diferença estatísticas entre os tratamentos SPA metabólito, SPA microrganismos, SPR metabólito, SPR microorganismo, SPT metabólito, SPT microorganismo e a testemunha (Figura 27).

Apesar do maior número de escleródios produzidos pela testemunha, observa-se que a mesma apresentou o menor peso dos escleródios, inferior aos tratamentos SPA microorganismo e SPR microorganismos, os demais tratamentos apresentou semelhança estatisticamente (Figura 27).

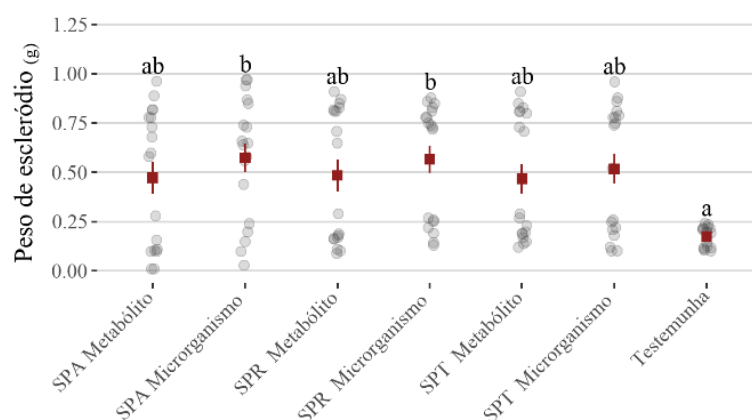


Figura 27. Peso de escleródios (g), submetidos aos testes *in vitro* com os tratamentos SPA metabólito, SPA microorganismo, SPR metabólito; SPR microorganismo; SPT metabólito e SPT microorganismo. Para os três experimentos, foi realizada análise conjunta. Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As barras de erro representam o erro padrão da média.

Para os dados de Inibição do Crescimento Micelial (ICM) (Figura 28) com relação à testemunha, foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos com SPA (*Bacillus*) SPR (*Bacillus* + *Trichoderma*) e SPT (*Trichoderma*) ($p \leq 0,05$).

Quando comparado aos bioprodutos, SPA metabólito, SPR metabólito e SPR metabólito e SPR microrganismo, SPT metabólito foram semelhantes estatisticamente, superiores aos tratamentos com SPA e SPT microrganismos. Contudo, ao analisar a interação entre modos de aplicação dos bioprodutos, houve diferença estatística para SPR, em que o microrganismo demonstrou superior ao tratamento com metabólitos. Os demais produtos e aplicação foram semelhantes estatisticamente (Figura 28).

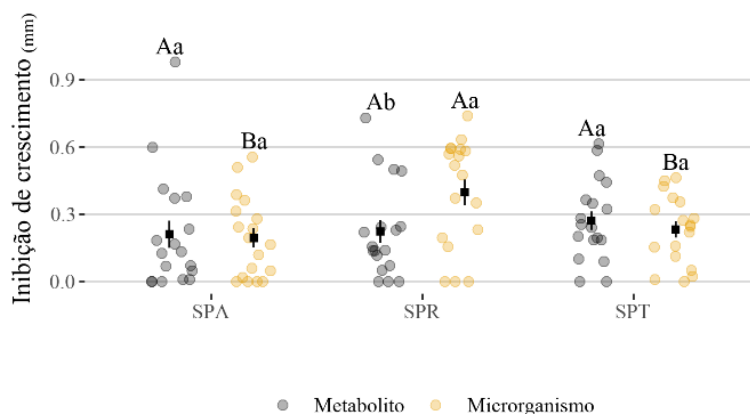


Figura 28. Inibição de crescimento micelial de *Rhizoctonia solani* cultivado in vitro, submetido a aplicação de bioprodutos SPA; SPR e SPT comparados ao crescimento micelial da testemunha. Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam bioprodutos e aplicação; letras minúsculas, diferem os métodos de aplicação do mesmo bioproduto. As barras de erro representam o erro padrão da média.

Desempenho de biocontrole in vivo de microrganismos, metabólitos, isolados e em combinação sobre R. solani

Os testes de comparação de média, são possíveis observar as respostas das variáveis dos ensaios conduzidos em *in vivo* no controle de *R. solani* e são apresentados nas Figuras 29, 30 e 31.

Na avaliação de Altura de plantas (cm) aos 10 DAS, verificou-se que os produtos SPT-comercial e SPA-metabólito, foram significativamente superior a todos os tratamentos analisados, proporcionando maiores desenvolvimento inicial da cultura em solos infestados com *R. solani*. Os demais tratamentos apesar de terem sido inferiores estatisticamente demonstraram potencial no crescimento inicial da cultura do feijoeiro, e não afetaram negativamente a altura de plantas de feijoeiro nos estádios iniciais em condições adversas proporcionadas por patógeno de solo.

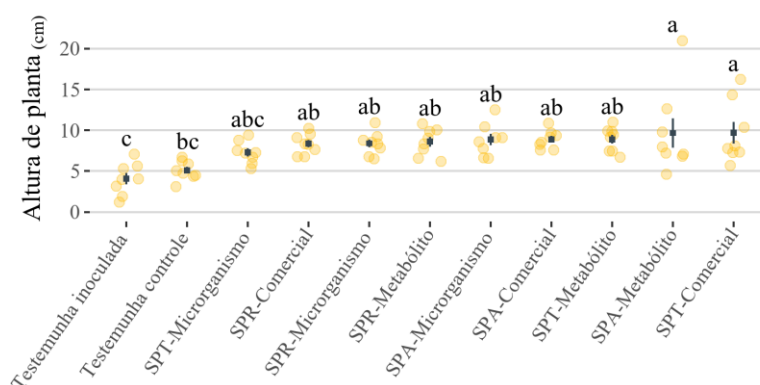


Figura 29. Altura de plantas (cm) *in vivo*. Comparação de média entre os fatores produto SPA; SPR e SPT. Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As barras de erro representam o erro padrão da média.

Na avaliação da incidência da podridão de raízes (*R. solani*) em cultivo de casa de vegetação, observou-se que o SPA-metabólito, SPT-metabólito foram estatisticamente semelhantes a testemunha controle sem a presença do patógeno, proporcionando eficiência de redução da incidência da doença. Os tratamentos SPA, SPR e SPT microrganismo, SPT metabólito, SPR comercial, diferiram significativamente da testemunha inoculada, proporcionando eficiência intermediária de controle.

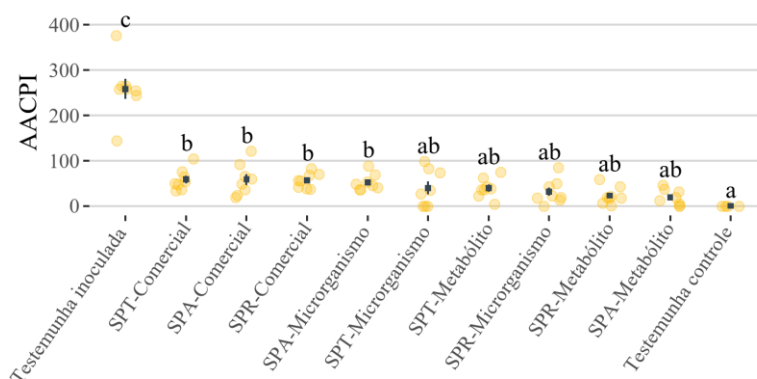


Figura 30. Área abaixo da curva do progresso da incidência (AACPI) da rizoctoniose em plantas de feijoeiro aos 14 dias após sementeira que foram tratadas com SPA; SPR e SPT aplicados metabólitos, microrganismos de forma isolada e em combinação (formulado comercial). Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As barras de erro representam o erro padrão da média.

A avaliação do tombamento de plântula de feijoeiro comum em condições de cultivo de casa de vegetação, observa-se que houve diferenças significativas entre os tratamentos e as respectivas testemunhas, controle e inoculada. Assim como para as demais variáveis, o SPA-metabólito proporciona o controle da doença da podridão radicular, os tratamentos SPA e SPT com aplicação via microrganismo e SPT comercial, destacaram com os menores número de plantas tombadas quando submetidos aos tratamentos. Os demais tratamentos

proporcionaram eficiência e redução do tombamento de plântulas de feijoeiro comum de forma intermediária, estatisticamente superior à testemunha inoculada.

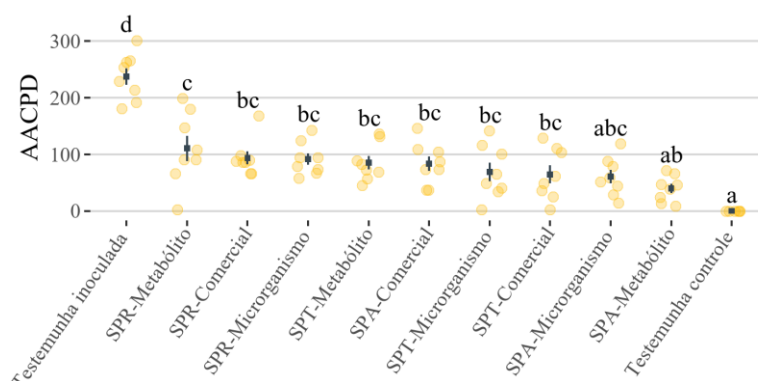


Figura 31. A área sob a curva de progresso da doença (AACPD) Tombamento - 14 DAS para plantas de feijoeiro-comum tratadas com SPA; SPR e SPT aplicados metabólitos, microrganismos de forma isolada e em combinação (formulado comercial). Os valores médios seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As barras de erro representam o erro padrão da média.

4 DISCUSSÃO

Os benefícios agregados ao desenvolvimento, da cultura do feijoeiro comum tratadas com os bioprodutos SPA; SPR e SPT, ocorreu pelas características de condicionador de solo e bioestimulante dos agentes de biocontrole *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp.

Deste modo, os experimentos de forma consistente, demonstram a investigação inicial da pesquisa, com a promoção de crescimento de plantas, e como o controle biológico podem ser aprimorados por intermédio de aplicações de *Trichoderma* e *Bacillus* de forma associada ou não, com as aplicações de metabólitos e/ou microrganismos.

Para os ensaios de desempenho agrônômico com os bioprodutos sem a presença do patógeno radicular *R. solani*, a partir dos resultados de altura de plantas, massa fresca e seca de plantas, massa fresca e seca de raiz, foi demonstrado que houve incrementos com relação à testemunha das aplicações dos agentes de biocontrole *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp.

A ação de *Trichoderma* como estimulador de crescimento apresenta conjunto de interações complexas de enzimas e compostos benéficos (BAUGH; SCOBAR, 2007; LUCON, 2009). Experimentos conduzidos com *B. subtilis* na cultura da soja (*Glycine max* L.), destacaram maior crescimento das plantas, maior nodulação das raízes e produção de fitohormônios (ARAÚJO; HUNGRIA, 1999). Ribeiro et al., (2011), obtiveram promoção de crescimento proporcionada por *Bacillus*, maior índice de velocidade de emergência de plântulas, dessa forma contribui com o tempo de susceptibilidade da semente/ plântula a

patógenos de solo como o patógeno *R. solani*. Em condições limitantes, a utilização de bactérias que possam incrementar no crescimento da planta é alternativa mais eficiente de fertilizantes e emprego no controle biológico (NABTI et al., 2010).

Estudos constataram que diferentes isolados de *T. harzianum* demonstraram potencial como promotores de crescimento.

Para Araújo (2008) existe uma relação de espécies de *Bacillus* com relação ao aumento de disponibilidade de nutrientes no solo, foi comprovada maior absorção de nutrientes, como o macronutriente fósforo, via inoculação de sementes.

Moreira et al. (2021), obtiveram resultados com cepas de *Bacillus* sp. e *Trichoderma asperellum*, em promoção e crescimento de mudas via solubilização de fosfato e favorecem a síntese de auxinas.

A baixa fertilização de K, reduz a resistência de plantas à suscetibilidade de patógenos, este está relacionado às funções metabólicas desse elemento. A alta nutrição de K em plantas não causam efeitos na resistência de plantas a doenças.

O *Trichoderma* spp. atua nos mecanismos de solubilização de nutrientes de forma insolúvel no solo (ALTOMARE et al., 1999), por translocação (BENITEZ et al., 2004). A eficiência do agente de biocontrole de fungos fitopatogênicos, quando observada as eficiências em solos com baixa fertilidade, resultou em incrementos significativos nas análises nutricionais de plantas, em pesquisas de Kapri; Tewari (2010) apresentou sua alta capacidade de solubilização de fósforo. Para Harman et al., (2004) resultou na solubilização de ferro, manganês, e magnésio, com variações nos tratamentos com resultados satisfatórios.

A caracterização de Ca é complementar ao K, principalmente a manutenção, divisão e desenvolvimento das células das plantas (MARSCHNER. 1995). Os teores de Ca, são essenciais na redução de severidade de doenças causadas por patógenos de solo (ZAMBOLIM et al., 2001).

O ferro por sua vez é essencial na síntese de algumas substâncias fungitóxicas presentes no hospedeiro como, por exemplo, as fitoalexinas, que induzem resistência à invasão de determinados patógenos.

Estudos com Zn destacam que a atuação na planta pode diminuir ou aumentar a incidência de doenças.

Pesquisas realizadas por Bernardes et al. (2008) foi relatado que *Trichoderma* spp. e bioestimulantes aplicados via tratamento de sementes não apresentaram efeitos significativos nos componentes de produtividade da cultura do feijoeiro.

Resultados obtidos por Frasca et al., (2020), utilizando *T. asperellum* combinado com *B. methylotrophicus* na promoção como bioestimulantes na cultura do feijoeiro comum, não obtiveram resultados promissores em componentes de produção e produtividade.

As melhorias de crescimento como bioestimulante, refletiram nos ensaios com a presença do patógeno *in vitro*, confirmando a resposta dos tratamentos quando utilizado metabólito, microrganismo de formas isoladas e em combinação na aplicação visando o controle de *R. solani* em meio de cultura, a performance dos produtos utilizando nos crescimentos micelial em 24, 48 e 72 horas após a repicagem do fungo apresentou o reflexo obtido em condições de campo, despontando como alternativa viável dentro do biocontrole do patógeno radicular, além de incrementar e proporcionar condições ótimas para o desenvolvimento da cultura.

Algum fato pode caracterizar a relação de resposta dos mecanismos de ação de *Trichoderma* e *Bacillus*. Algumas combinações dos dois organismos, como a aplicação dos tratamentos SPR, aumentaram o crescimento e desenvolvimento das plantas e a inibição do crescimento micelial quando comparado a testemunha.

Estudos com *Bacillus* e *Trichoderma* expressaram resultados promissores para a cultura do sorgo, como promotores de crescimento e controle biológico de doenças (JISHA; ALAGAWADI, 1996).

Para a cultura do feijoeiro os autores Kumar; Dube (1992), concluíram em suas pesquisas com os agentes de biocontrole *Trichoderma* e *Bacillus* isoladamente e em combinação, a atribuição a possíveis fatores de absorção de nutrientes do solo, e produção de promotores de crescimento.

Trichoderma spp. são competidores com o patógeno por nutrientes, com rápido crescimento e colonização de substratos, parasita estruturas de patógenos (SILVA, et al., 2017).

Cultivo *in vitro* entre patógeno e agente de biocontrole é considerado essencial para identificar potencial de produtos com ação de biocontrole (HERMOSA et al., 2000).

BROETTO, et al. (2013), obteve resultados de isolados de *Trichoderma* spp., causaram inibição no crescimento micelial de *Macrophomina phaseolina*. Já em pesquisas de isolados de *Trichoderma* sobre o crescimento micelial de *S. sclerotiorum* não obtiveram potencial de inibição do fitopatógeno, caracterizaram fator de variabilidade de isolados com potencial ou não de biocontrole.

Diferentes isolados de *Trichoderma* spp. são eficientes no modo de ação de competição e produção de metabólitos, capazes de inibição do crescimento micelial do fungo de solo, gênero *Fusarium solani* e *F. oxysporum* (AZEVEDO et al., 2020).

Os efeitos benéficos, quando aplicado junto às sementes ou ao solo, em sulco de semeadura, é devido ao efeito antagonismo proporcionado aos patógenos, as bactérias não-patogênicas, influenciam positivamente na germinação, desenvolvimento e rendimento da produção final da cultura, promoção de crescimento e melhorias na nutrição das plantas, através da solubilização de fósforo (GAIND, GAUER, 1991).

Trichoderma spp. e *Bacillus* spp. apresentaram ação antagônica sobre o patógeno de *R. solani*, sobre a taxa de número de escleródios formados *in vitro* após o período de 15 dias após a repicagem do patógeno em meio de cultura.

Bacillus subtilis mostrou eficiência no controle de *Sclerotinia sclerotiorum* mas não impediu a formação de escleródios (GABARDO et al., 2020). Estes mesmos autores, apresentaram resultados de *Trichoderma* demonstrando eficiência superior a *Bacillus* no controle de *R. solani*.

A redução de escleródios é essencial para manejo e controle efetivo de doenças de solo (GÖRGEN et al., 2010).

Estudos de controle de *R. solani* utilizando os tratamentos com *Trichoderma* spp., houve redução na sobrevivência dos escleródios (KUNIEDA et al., 2005), corroborando com estes resultados, Zancan et al. (2012) obtiveram inibição de formação de escleródios *in vitro* com *T. harzianum*. Broetto (2014), constataram variações na capacidade de *Trichoderma* sp. sobre a inibição do crescimento de *Macrophomina phaseolina* sobre a produção de microesclerídios.

Trichoderma utilizando seus mecanismos de ação contra os fungos fitopatogênicos, atua com ação direta sobre eles (HARMAN, et al., 2004; LOUZADA, et al., 2009), através da utilização de forma eficiente do substrato e/ ou capacidade de secreção de metabólitos (SCHUSTER et al., 2010).

Resultados obtidos por Isaias et al., (2014), em estudos com bioatividade de *Trichoderma* spp. sobre fitopatógenos, apresentou inibição afirmando que os metabólitos secundários do antagonista exercem biocontrole significativo.

Em confirmação, Dildey et al. (2014), concluíram que *Trichoderma* spp. demonstram eficiência de inibição sobre patógeno causado pelo fungo *S. sclerotiorum* com agressividade de controle quando confrontado de forma direta em cultivo *in vitro*.

Os resultados obtidos mostraram alta sensibilidade de *R. solani* aos metabólitos e microrganismos dos bioprodutos SPA; SPR e SPT, com inibição do crescimento micelial de até 90%.

Lazzaretti, et al. (1994) apresenta diversos fatores que podem ser atribuídos ao crescimento micelial dos fungos na presença de metabólitos de *B. subtilis* tais como: 1) a quantidade de metabólitos produzidos não foi suficiente para inibir o crescimento micelial; 2) os fungos que apresentaram crescimento são menos sensíveis aos metabólitos produzidos; 3) pode ocorrer uma adaptação ou resistência do fungo aos metabólitos; 4) os metabólitos podem ser degradados por enzimas dos fungos (6); 5) os metabólitos podem degradar e/ou volatilizar, perdendo suas características antagônicas; e 6) os metabólitos produzidos, podem ser constituídos por substâncias químicas diferentes, sendo que cada uma apresenta características distintas. Quanto à termoestabilidade, degradação, volatilização entre outros. Como cada fungo pode apresentar sensibilidade a diferentes compostos químicos produzidos pelas bactérias, pode-se atribuir a algumas destas hipóteses a inibição em diferentes graus observados.

JUNIOR et al. (2018) obtiveram inibição do crescimento de *R. solani* com isolados de *Trichoderma* spp. com eficiência de 100%. A competição por espaço pode induzir o desenvolvimento de mecanismos parasitários pelo *Trichoderma* spp. acelerando seu crescimento frente ao fitopatógeno (BRITO et al., 2010).

Segundo Lanna Filho et al. (2010), bactérias antagônicas, como *B. subtilis*, de modo geral agem significativamente por antibiose e, ocasionalmente, por parasitismo e competição, e seus isolados produzem uma grande variedade de metabólitos antifúngicos.

A fase de germinação das sementes demanda maior umidade pelos processos de embebição de água, há um aumento das atividades metabólicas e liberação de nutrientes para a rizosfera com ativação dos microrganismos, e conseqüentemente ocorre a possibilidade de o patógeno causador da podridão radicular penetrar e colonizar raízes de plântulas em fase de germinação e emergência (MACHADO, 1994; MENTEN, 1995; VALE et al., 2001).

Resultados obtidos por Abeysinghe (2009), caracterizou a proteção de sementes proporcionadas por aplicação de *B. subtilis* e *T. harzianum* aplicada via semente e solo, respectivamente, os agentes utilizados no estudo proporcionaram significativa proteção das plantas contra o agente das podridões radiculares.

Há um efeito antagônico inibitório para patógenos, com respostas de metabólitos secundários, e significativo dentre diferentes espécies de fitopatógenos, demonstrado nos

experimentos com os patógenos de solo *Sclerotium rolfii* e *Verticillium dahliae* (ISAIAS et al., 2014),

Estudos de Les et al. (2020), obtiveram resultados de controle biológico a base de *Bacillus*, com diminuição da incidência de *R. solani*, maior desenvolvimento de plantas de soja.

Diante dos resultados obtidos dos diferentes bioprodutos apresentam praticabilidade agronômica variável: o bioproduto SPA, destacou-se para o uso em potencial do crescimento da cultura do feijoeiro, o bioproduto SPR apresenta a mesma performance, porém em condições sem a presença do patógeno. Quando utilizado o bioproduto SPT, desponta como alternativa viável sobre as condições de presença do inóculo de *R. solani* na área de cultivo.

A aplicação de bioprodutos na formulação de *Bacillus* spp. caracterizou baixas produtividades para a cultura do feijoeiro comum e destacaram para as características fenológicas da cultura do feijoeiro comum.

A aplicação de produtos biológicos que apresentam em sua formulação antagonistas que estão diretamente relacionados à indução de resistência, resulta no comprometimento nutricional e de produção da cultura, porque sem a presença do inóculo na área, a planta aumenta o estresse, que a induz ao estado de resistências aos fatores benéficos ao desenvolvimento da planta, sejam eles na absorção de nutrientes do solo, água, radiação solar.

Neste sentido, o estudo de caracterização do desempenho agronômico sem a presença do inóculo na área apresenta fatores que correspondem às respostas de defesa das plantas no manejo de controle biológico em doenças de plantas cultivadas, caracterizando o potencial dos produtos de forma isolada, apresentando os principais fatores e influências gerais que a submissão do fator de indução de resistência e outros mecanismos dos antagonistas pode comprometer a produção final da cultura do feijoeiro comum.

O entendimento diretamente envolvido no antagonismo de isolados de *Trichoderma* e *Bacillus* é de grande relevância, e esse potencial avaliado em condições de campo, apresenta respostas, pois os níveis de controle biológico de um patógeno e as principais características de adaptação em condições bióticas e abióticas podem ser variáveis.

5 CONCLUSÃO

Os resultados dos estudos indicam que:

- O uso agronômico dos produtos SPA, SPR e SPT foi favorável ao desenvolvimento normal do feijoeiro.

- *Bacillus* spp.; *Trichoderma* spp. e a combinação destes agentes de controle biológico foram eficientes em reduzir o crescimento micelial de *R. solani in vitro*.

- *Bacillus* spp.; *Trichoderma* spp. e a combinação destes agentes de controle biológico foram eficientes em reduzir a formação dos escleródios de *R. solani in vitro*.

- *Bacillus* spp. proporcionou maior altura de plantas, massa fresca e seca de raiz e influenciou positivamente na produtividade do feijoeiro sem a presença de inóculo de *R. solani* na área.

- Os microrganismos antagonistas aplicados via sulco de semeadura, com metabólitos, microrganismos isolados e em combinação (formulado) interferiu nas variáveis de crescimento vegetativo do feijoeiro sem a presença de inóculo de *R. solani* em condições de campo. Os tratamentos com *Bacillus*, *Trichoderma*, *Bacillus* e *Trichoderma* em combinação via aplicação de metabólitos e microrganismos, interferiram significativamente no aumento de produtividade do feijoeiro.

REFERÊNCIAS

- ABEYSINGHE, S. Effect of combined use of *Bacillus subtilis* CA32 and *Trichoderma harzianum* RU01 on biological control of *Rhizoctonia solani* on *Solanum melongena* and *Capsicum annuum*, **Plant Pathology Journal**, v.8, n.1, p. 9-16, 2009.
- ARAUJO, F. F. Inoculação de sementes com *Bacillus subtilis*, formulado com farinha de ostra e desenvolvimento de milho, soja e algodão. **Ciência e agrotecnologia**, v. 32, p. 456-462, 2008.
- AZEVEDO, D. M. Q.; DA SILVA ROCHA, F.; FERNANDES, M. D. F. G.; DA COSTA, C. A.; MUNIZ, M. D. F. S.; BARROSO, P. D.; DO ROSÁRIO BARBOSA, D. M. C. Antagonistic effect of *Trichoderma* isolates and its metabolites against *Fusarium solani* and *F. oxysporum* in chickpea. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.6, 36344-36361p, 2020.
- BAKER, K. F. Types of *Rhizoctonia* disease and their occurrence. In: PARAMETER JR., J. R. (Eds.). *Rhizoctonia solani: biology and pathology*. Berkeley: University of California Press, p. 125-148, 1970.
- BARBOSA, M.A.G; MICHEREFF, S.J; MARIANO, R.L.P; MARANHÃO, E. Biocontrole de *Rhizoctonia solani* em caupi pelo tratamento de sementes com *Pseudomonas spp. fluorescentes*. **Summa Phytopathol**, v. 21, p. 151-157, 1955.
- BAUGH, C. L.; ESCOBAR, B. The genus *Bacillus* and genus *Trichoderma* for agricultural bio-augmentation. **Rice Farm Magazine**, v. 1, n. 4, 2007.
- BETTIOL, W.; GHINI, R. Controle Biológico. In: BERGAMIN FILHO, A; KIMATI, H; AMORIM, L. **Manual de Fitopatologia, Princípios e conceitos**. 3ª ed. BIANCHINI, A.; MARINGONI, A. C.; CARNEIRO, S. M. T. P. G. Doenças do feijoeiro. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J.A. M. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, v. 2, p. 376-399, 1997.
- BOTELHO, S. A.; RAVA, C. A.; LEANDRO, W. M. Supressividade induzida a *Rhizoctonia solani* pela adição de diferentes resíduos vegetais. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 1, p. 35-42, 2001.
- BRITO, F.S.; MILLER, P.R.M.; STADNIK, M. Presença de *Trichoderma* spp. em composto e suas características para o controle de fitopatógenos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.5, 2010. 43-53p.
- BUENO, C.J; AMBRÓSIO, M.M.Q; SOUZA, N.L. Produção e avaliação da sobrevivência de estruturas de resistência de fungos fitopatogênicos habitantes do solo. **Summa Phytopathol**, v.33, n.1, 2007.
- CARDOSO, J. E. **Doenças do feijoeiro causadas por patógenos de solo**. CNPAF-Embrapa, Goiânia, GO. 1990, 30p.

CARDOSO, J. E.; COSTA, J. L. S. Interações entre fungos de solo patógenos do caupi. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 13, n. 2, 1988. 143 p.

CARDOSO, J.E. Podridão do colo. *In*: SARTORATO, A; RAVA. C.A. **Principais doenças do feijoeiro comum e seu controle**. Embrapa, Brasília. 300 p, 1994.

CHAVES, M. O.; BASSINELLO, P. Z. O feijão na alimentação humana. *In*: GONZAGA, A. C. de O. (Ed.). **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2.ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa, p. 15-23, 2014.

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

DALZOTTO, L.; TORTELLI, B.; STEFANSKI, F. S.; SACON, D.; SILVA, V. N.; MILANESI, P. M. Creole bean seeds microbiolization with doses of *Trichoderma harzianum*. **Ciência Rural**, v. 50, n. 5, p. 1–6, 2020.

DILDEY, O.D.F.; BARBIAN, J.M.; GONÇALVES, E.D.V.; BROETTO, L.; ETHUR, L.Z.; KUHN, O.J.; BONETT, L.P. Inibição do crescimento in vitro de *Sclerotinia sclerotiorum*, causador de mofo branco, por isolados de *Trichoderma* spp. **Revista Brasileira de Biociências**, v.12, n.3, 2014. 132-136p.

GABARDO, G.; DALLA PRIA, M.; PRESTES, A. M. C.; DA SILVA, H. L. *Trichoderma asperellum* e *Bacillus subtilis* como antagonistas no crescimento de fungos fitopatogênicos in vitro. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.8, 2020. 55870-55885p.

GAIND, S.; GAUER, A.C. Thermotolerant phosphate solubilizing microorganisms and their interaction with mungbean. **Plant and Soil**, 133: 141-149, 1991.

GÓNZALEZ, D.; CARRES, M. R.; BOEKHOUT, T.; STALPERS, J.; KURAMAE, E. E.; NAKATANI, A, K.; VILGALYS, R.; CUBETA, M. Phylogenetic relationships of *Rhizoctonia* fungi within the Cantharellales. **Fungal biology**, Oxford, v. 120, n. 4, p. 603-619, 2016.

GONZÁLEZ-GARCÍA, V. G.; ONCO, M. A. P.; SUSAN, V. B. Biology and systematics of the form genus *Rhizoctonia*. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 4, n. 1, p. 55-79, 2006.

GÖRGEN, C. A.; CIVARDI, E. A.; RAGAGNIN, V. A.; SILVEIRA NETO, A. N. D.; CARNEIRO, L. C.; LOBO JUNIOR, M. Redução do inóculo inicial de *Sclerotinia sclerotiorum* em soja cultivada após uso do sistema Santa Fé. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.10, p. 1102-1108, 2010.

GOULART, A.C.P. Efeito do tratamento de semente de algodoeiro com fungicidas no controle do tombamento de plântulas causado por *Rhizoctonia solani*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.27, n.4, p. 399-402, 2002.

- GUERRERO-GONZÁLEZ, M. L. et al. Differential expression of *Phaseolus vulgaris* genes induced during the interaction with *Rhizoctonia solani*. **Plant cell reports**, v. 30, n. 8, p. 1465-1473, 2011.
- HARMAN, G. E., HOWELL, C. R., VITERBO, A., CHET, I., LORITO, M. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Review Microbiology**, v. 2, p. 43-56, 2004.
- HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D. Climate change determined drought stress profiles in rainfed common bean production systems in Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 246, n. March, p. 64-77, 2017.
- HENNING, A. A.; ALMEIDA, A. F. R.; GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; YORINORI, J. T.; COSTAMILAN, L. M.; FERREIRA, L. P.; MEYER M. C.; SOARES, R. M.; DIAS, M. P. **Manual de Identificação de Doenças de Soja**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Documento 256. Londrina: Embrapa Soja, 2005.
- HILLOCKS, R.J.; WALLER, J. M. **Soilborne diseases of tropical crops**. Cabi, 1997.
- JISHA, M.S.; ALAGAWADI, A.R. Nutrient uptake and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench) inoculated with phosphate solubilizing bacteria and cellulolytic fungus in a cotton stalk amended vertisol. **Microbiology Research**, v. 151, p. 213-217, 1996.
- JUNIOR, A. F. C.; CHAGAS, L. F. B.; DOS SANTOS, G. R.; MARTINS, A. L. L.; DE CARVALHO FILHO, M. R.; OLIVEIRA MILLER, L. Ação de *Trichoderma* spp. no controle de *Fusarium* sp., *Rhizoctonia solani* e *Sclerotium rolfsii*. **Agri-Environmental Sciences**, v.4, n.2, p.9-15, 2018.
- KAPRI, A.; TEWARI, L. Phosphate solubilization potential and phosphatase activity of rhizospheric *Trichoderma* sp. **Brazilian Journal Microbiology**, v. 41, n. 3, p. 1-9, 2010.
- KUMAR, B.S.D, DUBE, H.C. Seed bacterization with fluorescent pseudomonas for enhanced plant growth, yield and disease control. **Soil Biology and Biochemistry**. 24: 539-542, 1992.
- KUNIEDA-ALONSO, S.; ALFENAS, A.C.; MAFFIA, L.A. Sobrevivência de micélio e escleródios de *Rhizoctonia solani* tratados com *Trichoderma* spp., em restos de cultura de Eucalyptus sp. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.30, p.164-168, 2005.
- LANNA-FILHO; FERRO, H.M; PINHO, R.S.C de. Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*, **Revista Trópica – Ciências agrárias e Biológicas**, v. 4, n. 2, p. 12, 2010.
- LEACH, L.D; GABER, R.H. Control of *Rhizoctonia*. In: PARMETER, J.R. *Rhizoctonia solani* AG-3 in potato and soil. **Plant Pathology**, v.51, n.3, p. 293-302, 2002.
- LOUZADA, G. A. S.; CARVALHO, D. D. C.; MELLO, S. C. M.; LOBO JÚNIOR, M.; MARTINS, I.; BRAÚNA, L. M. Potencial antagônico de *Trichoderma* spp. originários de

diferentes agroecossistemas contra *Sclerotinia sclerotiorum* e *Fusarium solani*. **Biota Neotropica**, v.9, n.3, p. 145-149, 2009.

LUCON, C. M. M. **Promoção de crescimento de plantas com o uso de *Trichoderma* spp.** São Paulo: Instituto Biológico/Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Sanidade Vegetal, 2009.

LUMSDEN, R.D.; LOCKE, J.C. Biological control of damping-off caused by *Pythium ultimum* and *Rhizoctonia solani* in soilless mix. **Phytopathology**, v.79, p.361-66, 1989.

MACIEL, C. G.; WALKER, C.; MUNIZ, M. F. B.; ARAÚJO, M. M. Antagonismo de MACHADO, J.C. Podridões de tolerância de patógenos associados a sementes. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v.2, n.1, p.229-263, 1994.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emerge and vigor. **Crop Science**, v.2, p. 176-177, 1962.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed, 1997. 319p.

MELO, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; PEREIRA, H. S.; FARIA, L. C. de; COSTA, J. G. C. da; CABRERA DIAZ, J. L.; WENDLAND, A.; CARVALHO, H. W. L. de; COSTA, A. F. da; ALMEIDA, V. M. de; MELO, C. L. P. de; VIEIRA JUNIOR, J. R.; POSSE, S. C. P.; FARIA, J. C. de; SOUZA, J. F.; CARGNIN, A.; ABREU, A. de F. B.; MOREIRA, J. A. A.; PEREIRA FILHO, I. A.; MARANGON, M.; GUIMARÃES, C. M.; BASSINELLO, P. Z.; BRONDANI, R. P. V.; BRAZ, A. J. B. P.; FERREIRA, S. B.; MAGALDI, M. C. de S. **BRS Estilo - cultivar de feijão carioca com grãos claros, arquitetura ereta e alto potencial produtivo**. Embrapa Arroz e Feijão, 2011.

MENTEN, J.O.; MACHADO, C.C.; MUNISSI, 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.

MENTEN, J.O.M. Prejuízos causados por patógenos associados às sementes. In: MENTEN, J.O.M. (Ed.). Patógenos em sementes: detecção, danos e controle químico. São Paulo: Ciba Agro, 1995. p..203-224.

MENZIES, J.D. The first century of *Rhizoctonia solani*. In: PARMETER, J.R. *Rhizoctonia solani*, **Biology and Pathology**: Barkeley, p. 69-92, 1970.

MONTE, E. Understanding *Trichoderma*: between biotechnology and microbial ecology. **International of Microbiology**, v.4, n.1, p. 1-4, 2001.

MONTEIRO, V.N, et al. New insights in *Trichoderma harzianum* antagonismo of fungal plant pathogens by secreted protein analysis. **Current Microbiology**, v.61, n.4, p. 298-305, 2010.

MONTINO, S.P. Uso do *Bacillus subtilis* como agente de biocontrole de fitopatógenos da cultura da soja. **Multidisciplina de Educação e Meio Ambiente**, v. 2, n.3, p. 14, 2021.

MORDUE, J. E. M. *Thanatephorus cucumeris*. **Eghan: Commonwealth Mycological Institute**, p. 2, 1974.

MOREIRA, F.M.; CAIRO, P.A.R.; BORGES, A.L.; SILVA, L.D.; HADDAD, F. Investigating the ideal mixture of soil and organic compound with *Bacillus* sp. and *Trichoderma asperellum* inoculations for optimal growth and nutrient content of banana seedlings. **South African Journal of Botany**, v.137, 2021. 249-256.

NABTI, E.; SAHNOUNE, M.; GHOUL, M.; FISCHER, D.; HOFMANN, A.L.; ROTHBALLER, M.; SCHMID, M. & HARTMANN, A. Restoration of growth of durum wheat (*Triticum durum* var. waha) under saline conditions due to inoculation with the rhizosphere bacterium *Azospirillum brasilense* NH and extracts of the marine alga *Ulva lactuca*. **Journal Plant Growth Regulation**, v. 29, n.1 ,p. 6–22, 2010.

NECHET, K.L.; HALFELD-VIEIRA, B.A. Caracterização de isolados de *Rhizoctonia* spp., associados à mela do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*). **Fitopatologia Brasileira**, v.31, n.5, p.505-508, 2006.

OGOSHI, A. **Ecology and pathogenicity of anastomosis and intraspecific groups of *Rhizoctonia solani* Kuhn**. Annual Review of Phytopathology, v. 25, p. 125-143, 1987.
OGOSHI, A. Introduction - The genus *Rhizoctonia*. In: SNEH, B.; JABAJI-HARE, S.; NEATE, S.; DIJST, G. ***Rhizoctonia* species: taxonomy, molecular biology, ecology, pathology and disease control**. Dordrecht: Kluwer, p. 1-9, 1996.

OLIVEIRA, A. C. C.; SOUZA, P. E. D.; POZZA, E. A.; FIGUEIRA, A. D. R.; AVELAR, G. D.; GOMES, E. A.; MONTEIRO, F. P. Caracterização morfológica, genética e patogenicidade de isolados de *Rhizoctonia solani* provenientes de algodoeiros no Brasil. **Bioscience Journal**, p. 512-524, 2014.

OLIVEIRA, A.C.; SOUZA, P.E.; POZZA, E.A.; FIGUEIRA, A.R.; AVELAR, G.D.; GOMES, E.A.; MONTEIRO, F.P. Caracterização morfológica, genética e patogenicidade de isolados de *Rhizoctonia solani* provenientes de algodoeiros no Brasil. **Bioscience Journal**, v.30, p. 512-524, 2014.

OSBORNE, J. W. Improving your data transformations: applying the Box-Cox transformation. Practical Assessment, Research and Evaluation, Vol. 15, pp. 1-9, 2010.
PAPAVIZAS, G.C.; DAVEY, C. B. Saprophytic behavior of *Rhizoctonia* in soil. **Phytopathology**, v.51, p. 693-699, 1961.

PELZER, G.Q.; HALFELD-VIEIRA, B.A.; NECHET, K.L.; SOUZA, G.R.; ZILLI, J.E. PERIN, L. Mecanismos de controle da murcha-de-esclerócio e promoção de crescimento em tomateiro mediados por rizobactérias. **Tropical Plant Pathology**, v. 36, v.2, p. 95-103, 2011.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – **5ª aproximação**. Viçosa: UFV, 1999.

RIBEIRO, R.; SEI, F. B.; LEITE, M.S. *Bacillus subtilis*: agente de controle biológico e promotor de crescimento em plantas. Equipe de Pesquisa e Desenvolvimento de Novozymes Turfal, p. 01, 2011.

ROMEIRO, R.S.; **Controle biológico de enfermidades de plantas: fundamentos.** Viçosa: Ed. UFV, 2007, 269 p.

ROMEIRO, R.S.; LANNA-FILHO, R.; VIEIRA, J.R.; SILVA, H.S.A.; BARACAT-PEREIRA, M.C.; CARVALHO, M.G. Macromolecules released by a plant growth-promoting rhizobacterium as elicitors of systemic resistance in tomato to bacterial and fungal pathogens. **Journal of Phytopathology**, v.153, p.120-123, 2005.

RÜCKERT, C. et al. Genome sequence of *B. amyloliquefaciens* type strain DSM7T reveals differences to plant-associated *B. amyloliquefaciens* FZB42. **Journal of Biotechnology**, v. 155, n. 1, p. 78–85, 2011.

SCHURT, D. A., SEABRA, S. S. DE S., SILVA, A. A. DA, MARTINS, S. A., & MEDEIROS, F. H. V. Tratamentos químicos e biológicos de sementes para controle da mela do feijão-caupi. **Agri-Environmental Sciences**, v.3, n.1, 2017. 30-36p.

SCHUSTER, A.; SCHMOLL, M. Biology and biotechnology of Trichoderma. **Applied Microbiology and Biotechnology**, New York, v. 87, p. 787–799, 2010.

SILVA, F. F. D.; CASTRO, E. D. M.; MOREIRA, S. I.; FERREIRA, T. C., LIMA, A. E. D. & ALVES, E. Emergência e análise ultraestrutural de plântulas de soja inoculadas com *Sclerotinia sclerotiorum* sob efeito da aplicação de *Trichoderma harzianum*. **Summa Phytopathologica**, v.43, n.1, p.41-45, 2017.

SOUZA, I.A.L; BENCHIMOL, R.L, SILVA, C.M; SANTOS, A.K.A; PINHEIRO, C.C; CARVALHO, E.A. Potencial de Biocontrole de *Rhizoctonia solani* do Feijão-caupi. **Biota Amazônia**, v.7, n.1, 2017, 86-89 p.

TEIXEIRA, R.A.; SOUZA, J. E. B.; TOLEDO, E. D. FUNGICIDAS NO TRATAMENTO DE SEMENTES DO FEIJOEIRO COMUM PARA O CONTROLE DE TOMBAMENTO CAUSADO POR *Rhizoctonia solani*. **Ipê Agronomic Journal**, v. 1, n. 1, p. 25-36, 2017.

Trichoderma spp. E *Bacillus subtilis* (UFV3918) a *Fusarium sambucinum* em *Pinus elliottii* ENGELM. **Revista Árvore**, v. 38, n. 3, p.505-512, 2014. *Trichoderma*. **Critic Rev Microbiol**, v. 24, p. 89-98, 1998.

V.; ALVARADO, I. C. M.; PINTO, Z. V. Supressividade a fitopatógenos habitantes do solo. In: BTTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. **Biocontrole de doenças de plantas: Uso e perspectivas.** v.1, cap. 12. p. 187-208, 2009.

VAN, A. H. C.B; ARNESON, P. A. Quantitative recovery of *Rhizoctonia solani* from soil. **Plant Pathology**, London, v. 70, n. 4,1986. 320-323p.

VINALE, F.; FLEMATTI, G.; SIVASITHAMPARAM, K. LORITO, M.; MARRA, R.; SKELTON, B.W.; GHISALBERTI, E.L. Harzianic acid, an antigungal and plant growth

promoting metabolite from *Trichoderma harzianum*. **Journal of Natural Products**, v.72, p.2032-2035, 2009.

VINALE, F.; SIVASITHAMPARAM, K.; GHISALBERTI, E.L.; MARRA, R.; BARBETTI, M.J.; LI, H. A novel role for *Trichoderma* secondary metabolites in the interactions with plants. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, p. 80-86, 2008.

ZAMBOLIM, L.; COSTA, H.; VALE, F.X.R. Efeito da nutrição mineral sobre doenças de plantas causadas por patógenos do solo. In: Zambolim, L. Manejo Integrado-Fitossanidade: Cultivo Protegido, Pivô Central e Plantio Direto. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 2001, 347-408p.

ZAMBOLIN, L.; COSTA, H.; VALE, F. X.R. Feijão Comum (*Phaseolus vulgaris* L.): Controle de doenças – podridão, tombamento e murcha causados por fungos de solo. In: VALE, F. X.R. do; ZAMBOLIN, L. (Ed.). **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Viçosa, MG: UFV Imprensa Universitária, v. 2, 1997. 375-402 p.