

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Bioinsumos na cultura da soja

*Maurício Conrado Meyer
Adeney de Freitas Bueno
Sérgio Miguel Mazaro
Juliano Cesar da Silva*

Editores Técnicos

*Embrapa
Brasília, DF
2022*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja

Rodovia Carlos João Strass, acesso Orlando Amaral, Distrito de Warta
Caixa Postal 231, CEP 86001-970, Londrina, PR
Fone: (43) 3371 6000 Fax: (43) 3371 6100
www.embrapa.br/
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Unidade responsável pelo conteúdo e edição

Embrapa Soja

Comitê Local de Publicações

Presidente: *Alvadi Antonio Balbinot Junior*

Secretária-Executiva: *Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite*

Membros: *Claudine Dinali Santos Seixas, Edson Hirose, Ivani de Oliveira Negrão Lopes, José de Barros França Neto, Liliane Márcia Mertz-Henning, Marco Antonio Nogueira, Mônica Juliani Zavaglia Pereira e Norman Neumaier*

Supervisão editorial: *Vanessa Fuzinatto Dall'Agnol*

Normalização bibliográfica: *Valéria de Fátima Cardoso*

Projeto gráfico e editoração eletrônica: *Edil Gomes*

Capa: *Vanessa Fuzinatto Dall'Agnol*

1ª edição: 2022

1ª impressão: PDF digitalizado

O conteúdo do livro, bem como a exatidão das citações e referências, são de inteira responsabilidade dos autores.

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Soja

Bioinsumos na cultura da soja / Maurício Conrado Meyer... [et al.] editores técnicos – Brasília,
DF: Embrapa, 2022.
550 p.

ISBN: ISBN: 978-65-87380-96-4

1. Soja. 2. Produção vegetal. 3. Insumo. 4. Fertilizante. I. Meyer, Maurício Conrado. II. Bueno, Adeny de Freitas. III. Mazaró, Sérgio Miguel. IV. Silva, Juliano Cesar da.

CDD: 633.34: 631.8 (21. ed.)

Valéria de Fátima Cardoso (CRB 9/1188)

©Embrapa, 2022

Bioinsumos para o manejo de doenças foliares na cultura da soja

Claudine Dinali Santos Seixas

Sérgio Miguel Mazaro

Leandro Eugenio Cardamone Diniz

Cláudia Vieira Godoy

Maurício Conrado Meyer

Introdução

No controle de doenças foliares da soja tem-se utilizado fungicidas rotineiramente, muitas vezes sem critérios técnicos, de forma calendarizada, sem rotação de ativos químicos, sem levar em conta a incidência e/ou a severidade das doenças e desconsiderando a especificidade do alvo biológico. Como consequência, alguns dos patógenos de parte aérea mais comuns, como *Phakopsora pachyrhizi* (ferrugem-asiática), *Corynespora cassiicola* (mancha-alvo) e *Cercospora* spp. (crestamento de *Cercospora* e mancha-púrpura), já apresentam resistência ou menor sensibilidade às principais moléculas químicas utilizadas (Godoy et al., 2017; Godoy; Meyer, 2020).

O desafio que se apresenta, portanto, é que sejam revistos os princípios básicos para a ocorrência de doenças da soja, considerando-se a intensidade de inóculo do patógeno, a presença de hospedeiro suscetível e o ambiente favorável ao progresso da doença e que se busquem alternativas de controle, incluindo o uso de microrganismos benéficos (bioinsumos), como uma estratégia extra para compor o manejo integrado de doenças.

Tem-se avançado na busca de bioinsumos para o manejo de doenças foliares na cultura da soja. Na literatura encontram-se trabalhos com óleos essenciais (Medice et al., 2007; Mesquini et al., 2011, Borges et al., 2013), extratos de plantas (Borges et al., 2013), homeopáticos (Oliveira et al., 2017) e agentes de biocontrole (Ward et al., 2011, Dorighello et al., 2015; Dorighello et al., 2020; Twizeyimana; Hartman, 2019). Mas, até o momento da publicação deste livro, apenas produtos à base de microrganismos estão registrados para controle de doenças na cultura da soja. Mais especificamente produtos à base de bactérias do gênero *Bacillus*. Por isso é importante buscar conhecer os diferentes tipos de bioinsumos, entender as formas de ação e de utilização, assuntos que serão abordados neste capítulo.

Principais agentes de biocontrole e modos de ação

É relatada na literatura uma diversidade de potenciais agentes de controle biológico utilizados em diversas culturas. Dentre eles os gêneros *Trichoderma* e *Bacillus* merecem destaque por serem os mais estudados até o momento.

O gênero *Trichoderma* inclui os fungos mais estudados no mundo em relação a biocontrole de fitopatógenos em espécies cultivadas. Em uma recente revisão contemplando as principais pesquisas realizadas durante os últimos cinquenta anos para avaliar as interações entre antagonistas fúngicos e fungos fitopatogênicos, foram listados aproximadamente 300 antagonistas fúngicos pertencentes a 13 classes e 113 gêneros juntamente com os patógenos alvo e doenças de plantas correspondentes. *Trichoderma* foi identificado como o gênero com maior potencial, compreendendo 25 agentes de biocontrole que têm sido usados contra várias doenças fúngicas de plantas (Thambugala et al., 2020).

Trichoderma spp. são oportunistas e apresentam capacidade de colonizar substratos variados sob condições ambientais muito diversas. A maioria dos isolados do gênero *Trichoderma* vive em climas temperados e solos ácidos. Esses fungos podem produzir estruturas de resistência, clamidosporos e microescleródios e, com isso, são capazes de sobreviver em condições adversas (Monte et al., 2019).

Para a cultura da soja ainda é limitado o número de espécies exploradas comercialmente, ficando restrito a *T. harzianum* e *T. asperellum* (Mapa, 2022). Alguns produtos comerciais são formulados com associação dessas duas espécies, com o argumento de proporcionar maior eficiência, por combinar distintas formas de ação.

Mas para o controle de doenças na parte aérea na cultura da soja, o gênero *Bacillus* é o único que apresenta registro no momento da edição do livro, embora seja um processo dinâmico e as consultas de registro devam ser realizadas no Agrofitt, sistema disponibilizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa, 2022).

Bacillus spp. são bactérias Gram-positivas, amplamente distribuídas no ambiente, incluindo o solo, os ambientes marinhos, a água doce (Allen et al., 1983), os sedimentos, as sementes, a rizosfera, as folhas (Ercolani, 1978; Morris et al., 1981) e até em ambientes extremos como desertos e geleiras (Melo, 1998). Bactérias desse gênero formam esporos e endosporos. Uma das principais características é a capacidade de produzir endosporos resistentes ao calor (Melo, 1998; Wang et al., 2018). Produzem diferentes compostos biologicamente ativos, como enzimas amilolíticas, enzimas proteolíticas e antibióticos (Melo, 1998).

Bacillus subtilis é capaz de sintetizar mais de 60 tipos diferentes de antibióticos, principalmente polipeptídeos, muitos dos quais possuem efeitos antifúngicos. Esses pertencem à família das iturinas (Phae; Shoda, 1991). Além dos efeitos antifúngicos, alguns compostos podem atuar como promotores de crescimento (Turner; Backman, 1991). Existe grande variação na produção desses compostos entre as espécies de *Bacillus* e mesmo entre cepas da mesma espécie. Por exemplo, duas cepas de *B. subtilis* são comercializadas por diferentes empresas no mercado brasileiro: *B. subtilis* BV02 registrado como fungicida e bactericida microbiológico e *B. subtilis* (CNPSO 2657), registrado como nematocida (Mapa, 2022). Há também exemplos do sinergismo entre diferentes espécies de *Bacillus* quando associados em um único produto: *B. subtilis* cepa BRM 2084 associado a *B. megaterium* cepa BRM 119, registrado como solubilizador de fósforo e *B. pumilus* CCTB05, *B. subtilis* CCTB04 e *B. amyloliquefaciens* CCTB09 registrados como promotores de crescimento de plantas.

Ainda na linha de sinergismo, além de associações entre diferentes espécies de *Bacillus*, há produtos registrados com a associação com outros agentes, como é o caso de um fungicida microbiológico formulado a partir de *B. amyloliquefaciens*, *Trichoderma harzianum* e *Trichoderma asperellum* (Mapa, 2022). Esse

fungicida está registrado para controle da antracnose do feijoeiro (*Colletotrichum lindemulthianum*), do mofo-banco (*Sclerotinia sclerotiorum*) e da mela (*Rhizoctonia solani*). Assim, é possível ter formulações para controle biológico utilizando bactérias e fungos simultaneamente, ampliando ainda mais a perspectiva de ação desses bioagentes.

Os diferentes mecanismos de ação dos agentes de biocontrole ocorrem por meio de um amplo espectro de fatores diretamente relacionados à quantidade de contato interespecíficas e à especificidade das interações (Thambugala et al., 2020). As formas de ação descritas na literatura para as espécies dos gêneros *Bacillus* e *Trichoderma* são competição, antibiose e indução de resistência.

A competição por nutrientes e nichos é um mecanismo fundamental pelo qual os agentes biológicos atuam na proteção das plantas aos fitopatógenos, sendo que os agentes microbianos geralmente atuam por colonização competitiva e da excreção de compostos antifúngicos. A eficácia do biocontrole é determinada, pelo menos parcialmente, pela capacidade intrínseca de utilizar nutrientes liberados pela planta hospedeira em competição com outros microrganismos, o que potencialmente leva à exclusão do patógeno (Boogert, 1996). Tal forma de ação, vem sendo mais descrita para fungos habitantes de solo, onde os compostos orgânicos liberados pelas raízes das plantas incluem aminoácidos, ácidos graxos, nucleotídeos, ácidos orgânicos, fenólicos, reguladores de crescimento de plantas, poliaminas, esteróis, açúcares e vitaminas (Woo et al., 2014; Monte et al., 2019). Além disso, *Trichoderma* tem a capacidade de produzir sideróforos capazes de quelatizar ferro e com isso interrompem o crescimento de agentes fitopatogênicos (Thambugala et al., 2020).

A antibiose é a produção e a secreção de compostos e metabólitos secundários antimicrobianos por fungos e bactérias antagonistas para inibir ou controlar os microrganismos patogênicos. Existe uma enorme diversidade de antibióticos com amplo espectro e estruturas diversas secretadas por *B. subtilis*, que incluem peptídeos, proteínas (enzimas) e produtos não peptídicos (Woo et al., 2014). *Bacillus subtilis* QST-713 produz iturina, agrastatina/plipastatina e surfactina, entre outros compostos que inibem a germinação de esporos e o crescimento do tubo germinativo de patógenos (Bettiol et al., 2012).

Metabólitos secundários produzidos por fungos podem modificar o crescimento e o metabolismo das plantas, enquanto outros parecem ter como alvo processos fúngicos específicos, como esporulação e alongamento de hifas (Thambugala et al., 2020). Os compostos produzidos por *Trichoderma* mais estudados são os peptaiboles, pequenos peptídeos não ribossômicos (NRP), poliquetídios (PK), terpenos e pironas como a 6-pentil-2H-piran-2-ona (6-PP) (Monte et al., 2019).

Sobre a indução de resistência, estudos indicaram que ocorre a ativação de mecanismos de defesa vegetal que estão associados a mudanças na composição da parede celular, a produção de proteínas relacionadas à patogênese (PR), como quitinases e glucanases, ao aumento nas atividades de enzimas como a fenilalanina amoniocaliase (FAL) e peroxidase (POD) e síntese de fitoalexinas, associadas à resistência (Woo et al., 2014; Monte et al., 2019; Paula et al., 2021).

O micoparasitismo, de acordo com Federação de Patologistas de Plantas Britânicas, se refere estritamente a fungos que existem em associação próxima com outro fungo do qual eles derivam alguns ou todos os seus nutrientes, sem produzir nenhum benefício em troca (Boogert, 1996). O gênero *Trichoderma* vem sendo extensivamente estudado para controle de patógenos habitantes do solo (Elad, 1996).

Vale ressaltar que os agentes de biocontrole podem atuar também nos processos de promoção de crescimento (Woo et al., 2014; Monte et al., 2019) e solubilização de nutrientes (Richardson, 2009), mas não são mecanismos ligados diretamente aos processos de parasitismo, motivo pelo qual não serão explorados neste capítulo.

Os mecanismos de ação, não podem ser generalizados pois devem ser consideradas as particularidades que envolvem as diferentes espécies e isolados/ cepas e, ainda, a associação entre microrganismos, o que permite comportamentos distintos quanto aos modos de ação.

Bioinsumos registrados para o manejo de doenças foliares na cultura da soja

Atualmente o processo de registro de fungicidas/bactericidas microbiológicos no Brasil, segue legislações muito próximas às utilizadas para registros de fungicidas químicos, por meio de processo moroso, sendo que existem limitados produtos atualmente registrados e muitos em fase registro.

Diversos produtos contendo bactérias do gênero *Bacillus* possuem registro para o controle de fungos habitantes do solo e de nematoides, sendo ainda restrita a disponibilidade de produtos registrados para o controle de doenças foliares (Mapa, 2022).

Os registros de biofungicidas são feitos para o alvo biológico, sendo reduzido o número de produtos com testes de eficiência para a cultura da soja, cujo maior volume dos trabalhos envolve fitopatógenos de raízes e hastes. Cinco fitopatógenos de parte aérea da soja possuem algum biofungicida registrado para seu controle, sendo eles *Colletotrichum truncatum*, *Septoria glycines*, *Corynespora cassiicola*, *Cercospora kikuchii* e *Phakopsora pachyrhizi* (Tabela 1).

Tabela 1. Fungicidas microbiológicos a base de *Bacillus* spp. registrados por alvo biológico, na cultura da soja (Mapa, 2022).

Agentes biológicos (empresa)	Alvos biológicos
<i>Bacillus pumilus</i> , CNPSo 3203 (Koppert)	<i>Septoria glycines</i> (mancha-parda) <i>Corynespora cassiicola</i> (mancha-alvo) <i>Cercospora kikuchii</i> (crestamento foliar de <i>Cercospora</i>)
<i>Bacillus subtilis</i> , CNPSo 2720 + <i>Bacillus velezensis</i> , CNPSo 3602 + <i>Bacillus pumilus</i> , CNPSo 3203 (Biotrop)	<i>Septoria glycines</i> (mancha-parda)
<i>Bacillus subtilis</i> BV02 (Vittia)	<i>Phakopsora pachyrhizi</i> (ferrugem-asiática) <i>Colletotrichum truncatum</i> (antracnose)
<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus velezensis</i> , CNPSo 3602 (FMC)	<i>Colletotrichum truncatum</i> (antracnose)
<i>Bacillus velezensis</i> , RTI301 + <i>Bacillus subtilis</i> , RTI477 (FMC)	<i>Colletotrichum truncatum</i> (antracnose)

Para o manejo de doenças da cultura da soja é importante considerar e entender o patossistema envolvido, o que remete à forma de sobrevivência dos patógenos, à fonte do inóculo inicial, à(s) forma(s) de disseminação e de infecção, bem como o comportamento epidemiológico, se monocíclico ou policíclico e também se é um patógeno biotrófico, hemibiotrófico ou necrotrófico.

De posse dessas informações o manejo de doenças é mais efetivo, pois considera as particularidades e possibilita a intervenção adequada com diferentes estratégias de controle, incluindo o uso de agentes de biocontrole.

Principais Doenças de Parte Aérea

Na cultura da soja as principais doenças causadas por patógenos biotróficos são a ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e o oídio (*Erysiphe diffusa*). As principais doenças causadas por patógenos necrotróficos são o crestamento de *Cercospora* (*Cercospora* spp.) e a mancha-alvo (*Corynespora cassiicola*). As doenças causadas por patógenos hemibiotróficos são a antracnose (*Colletotrichum* spp.) e a mancha-parda (*Septoria glycines*).

Doenças causadas por patógenos biotróficos

A ferrugem-asiática é a doença mais severa da cultura, podendo causar perdas de até 100% de produtividade. Os sintomas ocorrem principalmente nas folhas e podem ocorrer em qualquer estágio de desenvolvimento da cultura, levando à desfolha precoce. Desenvolve-se em uma ampla faixa de temperatura, de 10 °C a 27 °C, com faixa ótima entre 15 °C e 25 °C, sendo favorecida por longos períodos de molhamento e precipitações bem distribuídas. Na entressafra o fungo sobrevive em plantas voluntárias de soja e hospedeiros alternativos. A disseminação dos esporos se dá pelo vento. Não é transmitido por semente. A penetração do fungo ocorre de forma direta na folha através da epiderme (Melching et al., 1989; Del Ponte et al., 2006).

O oídio é causado pelo fungo *Erysiphe diffusa* e pode acarretar perdas de até 30%. Os sintomas podem ocorrer em qualquer parte da planta e em qualquer estágio de desenvolvimento. A sobrevivência do fungo ocorre em plantas voluntárias de soja e hospedeiros alternativos (feijão, tremoço-branco, feijão-de-porco, mucuna-branca). Os sintomas são uma fina cobertura esbranquiçada pulverulenta, constituída de micélio e esporos do fungo, que podem aparecer em pequenos pontos ou cobrir toda a parte aérea da planta, principalmente as folhas, em ambas as faces. O fungo coloniza os tecidos da planta superficialmente e obtém os nutrientes por meio de haustórios nas células da epiderme. A disseminação ocorre pelo vento. A doença é favorecida por períodos de baixa umidade e de temperaturas amenas (18 °C a 24 °C). As estratégias de controle da doença envolvem a utilização de cultivares resistentes e o controle químico após observação dos sintomas iniciais (Henning et al., 2014; Hartman, 2015; Seixas et al., 2020).

A intervenção de controle biológico para essas doenças deve ser preventiva. Considerando o comportamento epidemiológico policíclico desses patógenos biotróficos, o principal objetivo da estratégia de controle é retardar o máximo possível a ascendência da curva de progresso da doença, reforçando a necessidade da proteção preventiva das plantas, quando a inserção dos biofungicidas pode ser integrado ao manejo.

Um dos produtos registrados atualmente tem como um dos alvos *P. pachyrhizi* (Tabela 1). O produto é a base de *B. subtilis*, cepa BV02. Essa e outras espécies de *Bacillus* têm sido amplamente estudadas para controle desse patógeno.

Dorighello et al. (2015) avaliaram dois produtos comerciais, um a base de *B. subtilis* QST-723 e outro à base de *B. pumilus* QST-2808, além de três cepas de *B. subtilis* (AP-3, AP-51 e uma sem denominação da cepa), uma cepa de *B. licheniformis*, a mistura de *B. subtilis* com *B. licheniformis* e também óleo de café torrado e bruto. Compararam com um fungicida (piraclostrobina + epoxiconazol). Os testes foram feitos em folha destacada, em plantas em casa de vegetação e a campo. Em todos os testes o controle com o fungicida isolado foi o melhor tratamento. Mas foi verificado que os dois produtos comerciais (*B. subtilis* QST-723 e *B. pumilus* QST-2808) inibiram completamente a germinação dos uredosporos. Em folha destacada, além dos produtos comerciais, as cepas *B. subtilis* QST-713, *B. subtilis* AP-3 e *B. subtilis* AP-51 também reduziram significativamente a severidade da doença. Em casa de vegetação todas as cepas de *Bacillus*, com exceção da cepa *B. subtilis* AP-51, reduziram a curva abaixo do progresso de doença. Em condições de campo, o melhor resultado, entre os microrganismos, foi obtido com a cepa *B. subtilis* QST-713, com redução de 23% na severidade da doença. Os dados de produtividade não foram apresentados. Os autores ressaltam que embora agentes de biocontrole possam contribuir no manejo da ferrugem-asiática, é necessária a associação de outras estratégias, incluindo o uso de fungicidas químicos para obter o controle adequado da doença e evitar perdas de produtividade.

Ainda sobre esse mesmo estudo os efeitos dos dois produtos comerciais, sobre a germinação de uredosporos do patógeno estão relacionados à ação dos metabólitos presentes na formulação desses produtos. A ação prolongada desses metabólitos de forma sistêmica e eles persistem na planta por mais de uma semana, resultando na redução do inóculo primário, exercendo um efeito protetor na cultura. Já quando ocorre a mistura de dois agentes como *B. subtilis* e *B. licheniformis*, ocorre a formação de endosporos, sem a presença de metabólitos, dificultando sua ação imediata sobre o patógeno. (Dorighello et al., 2015)

O efeito benéfico de aplicações preventivas de agentes de biocontrole em soja, foi observado com isolados de *B. subtilis*, *B. firmus* e *B. amyloliquefaciens*, que além de reduzirem a germinação dos esporos em 72%, 69% e 82%, respectivamente, nos testes em folhas destacadas, independente da concentração, reduziram a severidade da ferrugem-asiática em até 96% com a aplicação preventiva, em até 70% com a aplicação simultânea e em até 47% com a aplicação curativa. Essas mesmas cepas foram testadas para controle de oídio, não sendo observada redução da severidade em casa de vegetação, reforçando a especificidade desses agentes quanto ao microrganismo alvo (Dorighello et al., 2017). O fato dessas cepas testadas não terem contribuído no controle de oídio não significa que as espécies não podem contribuir no controle, sendo necessário buscar e testar outras cepas.

Gabardo (2018) testou alguns produtos isolados e em combinação com aplicações do fungicida azoxistrobina + benzovindiflupir, para controle da ferrugem-asiática e de oídio, dentre os quais a cepa *B. subtilis* QSP, quitosana, enxofre e hipoclorito de sódio. Os experimentos foram conduzidos por três safras (2015/2016, 2016/2017, 2017/2018), com duas épocas de semeadura (outubro e dezembro). Os produtos isolados foram aplicados em quatro épocas (V4, V6, R1, R5.1) e nos tratamentos com as combinações, foram duas aplicações dos produtos alternativos na fase vegetativa (V4 e V6) e duas aplicações do

fungicida na fase reprodutiva (R1 e R5.1). Verificando os dados de produtividade, dos tratamentos com *B. subtilis* QSP, nas três safras, independente da época de semeadura o resultado das aplicações da bactéria isolada foi semelhante ao da testemunha, já quando combinada com o fungicida os resultados diferiram da testemunha e na maioria das situações (safra e época de semeadura) foi semelhante aos melhores tratamentos. Mas, para todos os alternativos, tanto para controle de ferrugem, quanto para controle de oídio a produtividade foi maior sempre quando associado com o fungicida.

Quando se avaliou *B. subtilis* QST 713 e *T. harzianum* T22 para o controle de *P. pachyrhizi*, os resultados demonstraram que *B. subtilis* apresentou eficiência de controle, mas, *T. harzianum* não se mostrou eficiente. Os autores sugerem que as espécies de *Trichoderma* precisam de condições ideais de umidade e nutrientes e essas condições geralmente ocorrem no solo e nas raízes. Nos tecidos foliares, a falta dessas condições pode impedir seu crescimento e a colonização do filoplano, resultando em falta de eficácia de *Trichoderma* contra patógenos de parte aérea. Sugerem ainda que o controle de ferrugem-asiática por *B. subtilis* pode ter ocorrido pela inibição da germinação de esporos de *P. pachyrhizi* por antibiose ou pela estimulação das defesas do hospedeiro (Twizeyimana; Hartman, 2019).

O potencial de *B. subtilis* BV02 no manejo de ferrugem-asiática foi estudado em diferentes pressões de inóculo, em dois ensaios no sul do Brasil, sendo um com baixa pressão de inóculo, com semeadura da soja realizada em setembro e colheita em fevereiro e outro com alta pressão, com semeadura em novembro e colheita em março. Os resultados demonstraram que *B. subtilis* BV02 apresenta potencial de controle da ferrugem, apresentando melhor performance em condições de baixa pressão de inóculo. Em ambas as situações o tratamento com *B. subtilis* BV02 diferiu da testemunha, mas ainda assim, houve alta incidência da doença. Por essa razão a indicação é o uso associado a fungicidas multissítios e sítio-específicos (Mazaro, dados não publicados).

Bacillus subtilis BV02 foi avaliado em ensaios em rede para controle da ferrugem-asiática em semeadura tardia, a partir de novembro, na safra 2020/2021 em 18 locais, em dois experimentos, de forma isolada e associado ao fungicida picoxistrobina + benzovindoflupir, sendo realizadas aplicações sequenciais a partir dos 50 dias da semeadura e repetidas a cada 14 dias em média. Na média de 15 experimentos, de forma isolada, o controle da ferrugem-asiática foi de 11% e a produtividade não diferiu da testemunha sem fungicida. Quando associado ao fungicida picoxistrobina + benzovindoflupir, não diferiu do produto isolado no controle da ferrugem-asiática e na produtividade, na análise de 15 e 14 experimentos, respectivamente. Em semeaduras tardias, mesmo iniciando as aplicações sem sintomas de ferrugem-asiática, não foi observado benefício na produtividade no uso de forma isolada ou associado ao fungicida picoxistrobina + benzovindoflupir nos ensaios em rede na safra 2020/2021 (Godoy et al., 2021).

Pelos trabalhos realizados até o momento sobre controle biológico de doenças foliares causadas por fungos biotróficos na cultura da soja, o gênero *Bacillus* vem demonstrando maior potencial de controle, sendo o mais adequado a se adotar na integração do manejo dessas doenças, em complementação à ação dos programas de fungicidas químicos.

Entretanto, outras espécies de microrganismos têm sido testadas. Ward et al. (2011) relataram um micoparasita de *P. pachyrhizi*, *Simplicillium lanosoniveum*. O micoparasita foi capaz de colonizar folhas com ferrugem em três dias e no quarto dia já havia esporulação. Usando PCR em tempo real, detectaram

menores quantidades de DNA de *P. pachyrhizi* quando da colonização pelo micoparasita e severidade mais baixa. Mas os mesmos autores relatam que *S. lanosoniveum* não foi capaz de se estabelecer em folhas de soja na ausência do fungo da ferrugem. Isso pode ser uma desvantagem, já que a doença é muito severa e não tem sido bem controlada com aplicações curativas nem de fungicidas químicos.

Além de microrganismos, outros tipos de bioinsumos vêm sendo testados. Medice et al. (2008) testaram óleos essenciais de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora*), de citronela (*Cymbopogon nardus*), de nim (*Azadirachta indica*) e de tomilho (*Thymus vulgaris*), em diversas concentrações, in vitro e em casa de vegetação. In vitro, todos os óleos em todas as concentrações testadas inibiram a germinação dos uredosporos em 100%. Em casa de vegetação a evolução da doença foi retardada em até 62,3% em relação a testemunha.

Alguns extratos botânicos, biomassa cítrica, extrato bruto e óleo essencial de *Eucalyptus citriodora* e grãos de kefir, foram testados, comparando com um fungicida químico. Os maiores índices de controle dentre esses tratamentos, foram obtidos com a biomassa cítrica e os grãos de kefir, mas o fungicida ainda foi mais eficiente. Porém, os tratamentos não diferiram quanto a produtividade. Os autores sugerem que pode ter sido pela ocorrência tardia da doença, no estágio R5 da cultura (Mesquini et al., 2011). Portanto, apesar de mostrarem possibilidade em condições de campo, são necessários mais estudos para verificar se, de fato, essas alternativas de tratamento podem contribuir efetivamente no controle, com reflexo em produtividade.

Borges et al. (2013) testaram extratos de 67 espécies de plantas e cinco óleos essenciais comerciais. O teste foi feito in vitro, avaliando a germinação de uredosporos. Entre os extratos vegetais, cinco reduziram a germinação de uredosporos em mais de 90% [*Salvia officinalis* (sálvia) em 91,25%; *Pelargonium* sp. (gerânio) em 92,50%; *Lavandula officinalis* (alfazema) em 92,23%; *Mentha pulegium* (poejo) em 94,17%; *Mentha arvensis* (menta) em 96,11%]. Entre os óleos essenciais a inibição variou de 20% a 50%. Essa maior porcentagem de inibição da germinação de uredosporos foi do óleo de *Caryophyllus aromaticus* (cravo-da-índia). Por outro lado, alguns extratos estimularam a germinação do fungo.

Esses trabalhos com extratos de plantas, óleos essenciais e outros compostos indicam a possibilidade de uso para controle da ferrugem-asiática, porém são necessários testes adicionais, principalmente a campo, incluindo a avaliação da produtividade. Além disso é importante verificar a seletividade na planta e os possíveis efeitos fitotóxicos. Bigaton et al. (2013) testaram óleos essenciais e extratos metanólicos de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius*) e quebra-machado (*Trichilia silvatica*). O extrato de aroeira-pimenteira a 5% (m/v), o óleo a 1% (v/v) tanto de aroeira-pimenteira quanto de quebra-machado foram fitotóxicos para a soja, provocaram queima em folíolos. E ainda, o extrato de aroeira-pimenteira a 5% (m/v) e o óleo a 1% (v/v) resultaram em maior intensidade da doença.

Doenças causadas por fungos necrotróficos e hemibiotróficos

As doenças causadas por patógenos necrotróficos são a mancha-alvo e o crestamento de *Cercospora* e mancha púrpura da semente.

Os sintomas típicos de mancha-alvo (*C. cassicola*) ocorrem nas folhas, iniciando por pontuações pardas, com halo amarelado e evoluindo para manchas circulares de coloração castanho-clara a castanho-

escura. Normalmente, as manchas apresentam pontuação no centro e anéis concêntricos alternando coloração clara e escura. Também podem ocorrer manchas em nervuras, pecíolos, hastes e vagens. A infecção é favorecida por alta umidade relativa. Cultivares suscetíveis podem sofrer desfolha com perdas de até 40% de produtividade. Além da soja, o fungo infecta mais de 400 espécies de plantas (Farr; Rossman, 2021). O fungo pode sobreviver em sementes infectadas e em restos de cultura, formando clamidosporos que são estruturas de sobrevivência (Godoy et al., 2016).

Cercospora kikuchii era a única espécie apontada como causadora do crestamento, mas recentemente estudos utilizando técnicas de biologia molecular apontaram que existem várias espécies associadas a essa doença. Os sintomas típicos são manchas foliares castanho-avermelhadas, que coalescem e formam grandes manchas escuras que resultam em crestamento e desfolha prematura, iniciando pelas folhas do terço superior da planta a partir de R5. Nas vagens, aparecem pontuações vermelhas que evoluem para manchas castanho-avermelhadas (Ward-Gauthier et al., 2015). Através da vagem, o fungo atinge a semente e causa a mancha púrpura no tegumento. A coloração das lesões é resultado da ação da toxina cercosporina produzida pelo fungo, que é ativada pela luz, produzindo espécies reativas de oxigênio, causando extravasamento do conteúdo celular, o que causa a morte celular.

A mancha-parda ou septoriose (*S. glycines*) e a antracnose (*Colletotrichum* spp.) são as doenças causadas por patógenos hemibiotróficos.

Septoria glycines pode aparecer cerca de duas semanas após a emergência, como pequenas pontuações ou manchas de contornos angulares, castanho-avermelhadas, nas folhas unifolioladas. No fim do ciclo, na fase final de desenvolvimento de grãos, em condições de altas umidade e temperatura, podem ser observadas de forma isolada ou associada ao crestamento-foliar de *Cercospora*, causando a desfolha precoce da lavoura (Seixas et al., 2020).

Várias espécies do gênero *Colletotrichum* foram relatadas como causadoras da antracnose no Brasil, a principal delas é *Colletotrichum truncatum*. Plântulas originadas de sementes infectadas apresentam necrose dos cotilédones, que pode se estender para o hipocótilo e causar o tombamento. O fungo também pode causar o apodrecimento da semente no solo, antes da emergência (Henning et al., 2014). Podem ocorrer lesões em hastes, nervuras das folhas, pecíolos e vagens. Mas, o principal sintoma é a queda e o apodrecimento de vagens. As vagens em início de formação (R4 - R5.1), quando infectadas, adquirem coloração castanho-escura a negra, ocorre abortamento de grãos e ficam retorcidas.

Considerando as doenças foliares causadas por fungos necrotróficos e hemibiotróficos, é importante conhecer a fonte do inóculo inicial. Tais patógenos possuem capacidade saprofítica, podendo apresentar estruturas de sobrevivência ou sobreviver na forma de micélio em restos culturais. Além disso, podem ser introduzidos por meio de sementes infectadas, que são outro meio de disseminação.

Essas características devem ser levadas em conta para traçar as estratégias e inserir os bioinsumos adequadamente no manejo das doenças.

Considerando as formas de transmissão, o tratamento de sementes pode ser a primeira intervenção. Em estudo realizado por Begum et al. (2010), foi avaliado o potencial de *Trichoderma harzianum*, *T. virens* e da bactéria *Pseudomonas aeruginosa* no tratamento de sementes de soja para controle de tombamento causado por *Colletotrichum truncatum*. Os três microrganismos foram capazes de reduzir

significativamente a incidência do tombamento tanto pré- quanto pós-emergência, sendo que a bactéria apresentou os melhores resultados, seguida de *T. harzianum*.

Carvalho et al. (2020) testaram o fungo *Aureobasidium pullulans*, também em tratamento de sementes para controle de *C. truncatum*. O índice de velocidade de germinação foi maior e a incidência de *C. truncatum* foi menor nas sementes tratadas com *A. pullulans*, quando comparado com as sementes inoculadas apenas com o fitopatógeno.

Além do uso de óleos essenciais diretamente, há a possibilidade da homeopatização desses óleos. Oliveira et al. (2007) testaram seis dinamizações (6CH, 12CH, 30CH, 60CH, 100CH e 200CH) de óleo essencial de eucalipto-limão [*Eucalyptus citriodora* (nome atual *Corymbia citriodora*)] e de capim-cidreira (*Cymbopogon citratus*). Avaliaram o efeito sobre a germinação de esporos de *C. cassiicola* e de *Alternaria solani*. Todas as dinamizações testadas reduziram a germinação dos dois fungos. Para *C. cassiicola* a redução chegou a 42% com a dinamização de 30CH. Havia também a expectativa de que esses produtos pudessem induzir a produção de gliceolina, uma fitoalexina, mas isso não ocorreu.

Mantecón (2008) avaliou fungicidas químicos e várias doses de dois produtos biológicos, um a base de *B. subtilis* QST-713 e outro a base *B. pumilus* QST-2808, para controle de septoriose na cultura da soja em condições de campo. A aplicação dos produtos foi feita no estádio R3. O produto a base de *B. subtilis* na maior dose ($2,7 \times 10^7$ CFU mL⁻¹) reduziu significativamente a doença.

Em ensaios realizados por S. M. Mazaró (dados não publicados), com a associação de *T. harzianum* URM 8119, *T. asperellum* URM 8120 e *Bacillus amyloliquefaciens* CCT 7901, em três cultivos de soja no sul do Brasil, com duas aplicações foliares em estádio fenológico V2 e V4, foi observada a redução da severidade de crestamento de *Cercospora* e de mancha-parda, assim como também de mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), demonstrando o amplo espectro de ação dos agentes de biocontrole. Vale ressaltar que esses ensaios foram instalados em sistema de semeadura direta sobre uma uniforme cobertura de solo com palhada de gramíneas e as aplicações realizadas em condições de alta umidade do solo, fatores determinantes para estabilização de *Trichoderma* e de *Bacillus*.

Em trabalho conduzido por Rissato (2021) com o uso associado de *B. pumilus* CCTB05, *B. subtilis* CCTB04 e *B. amyloliquefaciens* CCTB09, sendo realizada a primeira aplicação no estádio fenológico V5 e as demais com intervalos de 15 dias, observou-se o potencial de *Bacillus* no controle de doenças de final de ciclo, sendo que a associação com fungicidas demonstrou melhor performance. O uso isolado de *Bacillus* manteve os níveis de doença mais próximos da testemunha. Os dados demonstraram ainda que o uso de *Bacillus* spp. em duas aplicações iniciais e duas subsequentes de fungicidas, ou então, nas quatro aplicações associadas apresentaram boa performance na redução de doenças e com reflexo positivo em produtividade.

Poucos estudos relatam o uso de biológicos no manejo de doenças de final de ciclo na cultura da soja, mas esses, permitem considerar o potencial de *Bacillus*, como bioinsumo promissor no manejo integrado de doenças da soja. É exatamente a base de *Bacillus* os produtos registrados até o momento para controle de doenças foliares da soja.

Considerações finais

Nesse capítulo alguns trabalhos realizados buscando bioinsumos para controle de algumas doenças de parte aérea da soja foram relatados. O objetivo foi evidenciar a diversidade de possibilidades de bioinsumos, embora até o momento apenas produtos à base de *Bacillus* estejam registrados e disponíveis para controle dessas.

Pelo menos parte dos produtos mencionados ainda carecem de mais testes, principalmente a campo, em diferentes condições, em mais de uma safra, com avaliação da produtividade. Isso porque o efeito do bioinsumo sobre o microrganismo fitopatogênico deve ter reflexo positivo em produtividade, deve evitar perdas, para que de fato, possa ser uma estratégia para compor o manejo integrado dessas doenças. Também é importante registrar que os bioinsumos devem ser vistos como uma ferramenta a mais, junto com medidas legislativas, métodos culturais e químicos para alcançar o adequado manejo das doenças de forma racional e economicamente viável.

Referências

- ALLEN, D. A.; AUSTIN, B.; COLWELL, R. R. Numerical taxonomy of bacterial isolates associated with a fresh water fishery. *Journal of General Microbiology*, v. 129, p. 2043-2062, 1983.
- BEGUM, M. M.; SARIAH, M.; PUTEH, A. B.; ZAINAL ABIDIN, M. A.; RAHMAN, M. A.; SIDDIQUI, Y. Field performance of bio-primed seeds to suppress *Colletotrichum truncatum* causing damping-off and seedling stand of soybean. *Biological Control*, v. 53, n. 1, p. 18-23, 2010. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2009.12.001
- BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B.; PINTO, V. Z.; PAULA JUNIOR, T. J.; CORRÊA, E. D.; MOURA, A. B.; LUCON, C. M. M.; COSTA, J. C. B.; BEZERRA, J. L. **Produtos comerciais a base de agentes de biocontrole de doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa, 2012. 155 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 88).
- BIGATON, D.; BACCHI, L. M. A.; FORMAGIO, A. S. N.; GAVASSONI, W. L.; ZANELLA, C. S. Avaliação da atividade fungicida de extratos e óleos essenciais sobre ferrugem asiática da soja. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 4, p. 757-763, 2013.
- BOOGERT, P. H. J. F VAN DEN. Mycoparasitism and biocontrol. In: SNEH, B.; JABAJI-HARE, S.; NEATE, S.; DIJST, G. (Eds.). *Rhizoctonia Species: taxonomy, molecular biology, ecology, pathology and disease control*. Noordwijkerhout, Netherlands: Springer, 1996. p. 485-493. DOI: 10.1007/978-94-017-2901-7
- BORGES, D. I.; ALVES, E.; MORAES, M. B. DE; OLIVEIRA, D. F. Efeito de extratos e óleos essenciais de plantas na germinação de urediniosporos de *Phakopsora pachyrhizi*. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, v. 15, n. 3, p. 325-331, 2013.
- CARVALHO, W. H. A. N. P.; SILVA, H. F.; SANTOS, A. M. G.; COSTA, E. M. Prospecção de *Aureobasidium pullulans*, isolado do bioma Caatinga, no biocontrole de *Colletotrichum truncatum* em sementes de soja. *Ensaios*, v. 24, n. 4, p. 370-380, 2020. DOI: 10.17921/1415-6938.2020v24n4p365-369
- DEL PONTE, E. M.; GODOY, C. V.; LI, X.; YANG, X. B. Predicting severity of Asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. *Phytopathology*, v. 96, p. 797-803, 2006.
- DORIGHELLO, D. V.; BETTIOL, W.; MAIA, N. B.; CAMPOS LEITE, R. M. V. B. Controlling Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) with *Bacillus* spp. and coffee oil. *Crop Protection*, v. 67, 59-65, 2015. DOI: 10.1016/j.cropro.2014.09.017
- DORIGHELLO, D. V.; FORNER, C.; CAMPOS LEITE, R. M. V. B.; BETTIOL, W. Management of Asian soybean rust with *Bacillus subtilis* in sequential and alternating fungicide applications. *Australasian Plant Pathology*, 2020. DOI: 10.1007/s13313-019-00677-5
- DORIGHELLO, D. V. **Versatilidade de *Bacillus* spp. no controle biológico de doenças de plantas e na promoção de crescimento de soja**. 2017. 136 f. Tese (Doutorado em Agronomia, área de concentração Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.
- ELAD, Y. Bacterial and fungal cell-wall hydrolytic enzymes in relation to biological control of *Rhizoctonia solani*. In: SNEH, B.; JABAJI-HARE, S.; NEATE, S.; DIJST, G. (Eds.). *Rhizoctonia Species: taxonomy, molecular biology, ecology, pathology and disease control*, p. 455-462, 1996. DOI: 10.1007/978-94-017-2901-7

- ERCOLANI, G. L. *Pseudomonas savastanoi* and other bacteria colonizing the surface of olive leaves in the field. *Journal of General Microbiology*, v. 109, p. 245-257, 1978.
- FARR, D. F.; ROSSMAN, A. Y. **Fungal databases**: U.S. National Fungus Collections, ARS, USDA. 2021. Disponível em: <<https://www.nt.ars-grin.gov/fungal-databases/>>. Acesso em: 3 jul. 2021.
- GABARDO, G. **Manejo de doenças com produtos alternativos isolados e associados a fungicida na cultura da soja**. 2018. 165 f.; Tese (Doutorado em Agronomia, área de concentração: Agricultura) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.
- GODOY, C. V.; ALMEIDA, A. M. R.; COSTAMILAN, L. M.; MEYER, M.; DIAS, W. P.; SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; HENNING, A. A.; YORINORI, J. T.; FERREIRA, L. P.; SILVA, J. F. V.; Doenças da soja. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (Org.). **Manual de Fitopatologia**. v. 2. Doenças das plantas cultivadas. 5. ed. 2016. p. 657-675.
- GODOY, C.V.; MEYER, M.C.; MELLO, F.E.; UTIAMADA, C.M. Resistência de los hongos a fungicidas em soya. In: **Manual de Difusión Técnica de Soya 2017/2018**. Santa Cruz de La Sierra: FUNDACRUZ, 2017. p. 17-24.
- GODOY, C.V.; MEYER, M.C. Overcoming the threat of Asian soybean rust in Brazil. In: DEISING, H.B.; FRAAIJE, B.; MEHL, A.; OERKE, E.C.; SIEROTZKI, H.; STAMMLER, G. (Eds). **Modern Fungicides and Antifungal Compounds**. Braunschweig: Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft, v. IX, pp. 51-56. 2020.
- GODOY, C.V.; UTIAMADA, C.M.; MEYER, M.C.; CAMPOS, H.D.; LOPES, I.O.N.; TOMEN, A.; MUHL, A.; SCHIPANSKI, C.A.; SERCILOTO, C.M.; ANDRADE JUNIOR, E.R.; MORESCO, E.; ROY, J.M.T.; NAVARINI, L.; BELUFI, L.M.R.; DA SILVA, L.H.C.P.; ARAÚJO JÚNIOR, I.P.; FANTIN, L.H.; SATO, L.N.; GOUSSAIN JÚNIOR, M.M.; SENGER, M.; MÜLLER, M.A.; DEBORTOLI, M.P.; MARTINS, M.C.; CARLIN, VJ. **Eficiência de fungicidas multissítios e produto biológico no controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2020/2021**: resultados sumarizados dos experimentos cooperativos. Londrina: Embrapa Soja, 2021. 20 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica 175).
- HARTMAN, G. L. Powdery mildew. In: HARTMAN, G. L.; RUPE, J. C.; SIKORA, E. J.; DOMIER, L. L.; DAVIS, J. A.; STEFFEY, K. L. (Eds). **Compendium of soybean diseases and pests**. 5th ed. Saint Paul: APS Press, 2015. p. 51.
- HENNING, A. A.; ALMEIDA, A. M. R.; GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; YORINORI, J. T.; COSTAMILAN, L. M.; FERREIRA, L. P.; MEYER, M. C.; SOARES, R. M.; DIAS, W. P. **Manual de identificação de doenças de soja**. 5. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 76 p. (Embrapa Soja. Documentos, 256).
- MANTECÓN, J. D. Efficacy of chemical and biological strategies for controlling the soybean brown spot (*Septoria glycines*). **Ciencia e Investigación Agraria**, v. 35, n. 2, p. 211-214, 2008. DOI: 10.4067/S0718-16202008000200011
- MAPA. **Agrofit**: consulta aberta. 2022. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agro_fit_cons>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- MEDICE, R.; ALVES, E.; ASSIS, R. T.; MAGNO JUNIOR, R. G.; LOPES, E. A. G. L. Óleos essenciais no controle da ferrugem asiática da soja *Phakopsora pachyrhizi* Syd & P. Syd. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 1, p. 83-90, 2007.
- MELCHING, J. S.; DOWLER, W. M.; KOOGLE, D. L.; ROYER, M. H. Effects of duration, frequency, and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**, v. 73, p. 117-122, 1989.
- MELO, I. S. Agentes microbianos de controle de fungos fitopatogênicos. In: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. **Controle biológico**. Jaguariúna, SP: Embrapa, 1998. p. 17-67
- MESQUINI, R. M.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; VIEIRA, R. A.; NASCIMENTO, J. F. Controle e progresso temporal da ferrugem-asiática da soja sob controle alternativo em campo. **Summa Phytopathologica**, v.37, n. 1, p. 24-29, 2011.
- MONTE, E.; BETTIOL, W.; HERMOSA, R. *Trichoderma* e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. In: MEYER, M.C.; MAZARO, S.M.; SILVA, J.C. (Eds.). **Trichoderma**: uso na agricultura. Brasília, DF: Embrapa, 2019, p.181-199.
- MORRIS, J. R.; BERKELEY, R. C. W.; LOGAN, N. A.; O'DONELL, A. G.; The genera *Bacillus* and *Sporolletobacillus*. In: STARR, M. P.; STOLP, H.; TRÜPER, H. G.; BALOWS, A.; SCHLEGEL, H. G. (Eds.). **The Prokaryotes**: a handbook on habitats, isolation and identification of bacteria. Berlin: Springer-Verlag, 1981. p. 1711-1742.
- OLIVEIRA, J. S. B.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; BONATO, C. M.; CARNEIRO, S. M. T. P. G. Homeopatas de óleos essenciais sobre a germinação de esporos e indução de fitoalexinas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 208-215, 2017.
- PHAE, C.; SHODA, M. Investigation of optimal conditions for foam separation of iturin an antifungal peptide produced by *Bacillus subtilis*. **Journal of Fermentation and Bioengineering**, v. 71, p. 118-121, 1991.
- RICHARDSON, A. E. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 28, p. 897-906, 2009.

- RISSATO, R. B. *Bacillus no controle de doenças foliares de final de ciclo na cultura soja* - 26 f. Trabalhos de Conclusão de Curso II. Bacharelado em Agronomia. Orientador: Sérgio Miguel Mazaró - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2021.
- SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; GODOY, C. V.; MEYER, M. C.; COSTAMILAN, L. M.; DIAS, W. P.; ALMEIDA, A. M. R. Manejo de doenças. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. C. (Eds.). *Tecnologias de produção de soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 227-264. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17)
- THAMBUGALA, K.M.; DARANAGAMA, D. A.; PHILLIPS, A. J. L.; KANNANGARA, S. D.; PROMPUTTHA, I. Fungi vs. fungi in biocontrol: an overview of fungal antagonists applied against fungal plant pathogens. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, v. 10, 2020. DOI: 10.3389/fcimb.2020.604923
- TURNER, J. T.; BACKMAN, P. A. Factors relating to peanut yield increases following *Bacillus subtilis* seed treatment. *Plant Disease*, v. 75, p. 347-353, 1991.
- TWIZEYIMANA, M.; HARTMAN, G. L. Effect of selected biopesticides in reducing Soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) *Development Plant Disease*, 2019. DOI: 10.1094/pdis-02-19-0384-re
- WANG, X. Q.; ZHAO, D. L.; SHEN, L. L.; JING, C. L.; ZHANG, C. S. Application and mechanisms of *Bacillus subtilis* in biological control of plant disease. In: MEENA, V. (Eds.) *Role of rhizospheric microbes in soil*. Springer, 2018. DOI: 10.1007/978-981-10-8402-7_9
- WOO, S. L.; RUOCCO, M.; VINALE, F.; NIGRO, M.; MARRA, R.; LOMBARDI, N.; LORITO, M. *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture. *The Open Mycology Journal*, v. 8, n. 1, 2014.
- WARD-GAUTHIER, N. A.; SCHNEIDER, R. W.; CHANDA, A.; SILVA, E. C.; PRICE III, P. P.; CAI, G. *Cercospora* leaf blight and purple seed stain. In: HARTMAN, G. L.; RUPE, J. C.; SIKORA, E. J.; DOMIER, L. L.; DAVIS, J. A.; TEFPEY, K. L. (Ed.). *Compendium of soybean diseases and pests*. 5th. ed. Saint Paul: APS Press, 2015. p. 37-41.
- WARD, N. A.; ROBERTSON, C.L.; CHANDA, A. K.; SCHNEIDER, R. W. Effects of *Simplicillium lanosoneum* on *Phakopsora pachyrhizi*, the soybean rust pathogen, and its use as a biological control agent. *Phytopathology*, v. 102, p. 749-760, 2012.
- WARD, N. A.; SCHNEIDER, R. W. Colonization of soybean rust by *Simplicillium lanosoneum*. *Fungal Ecology*, v. 4, p. 303-308, 2011.