

*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. Mazarro, Sérgio Miguel. IV. Silva, Juliano Cesar da.

CDD: 633.34: 631.8 (21. ed.)

Valéria de Fátima Cardoso (CRB 9/1188)

©Embrapa, 2022

Controle biológico de mofo-branco na cultura da soja

Maurício Conrado Meyer

Sérgio Miguel Mazaro

Cláudia Vieira Godoy

Introdução

O mofo-branco é causado por *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, um fungo fitopatogênico capaz de infectar mais de 400 espécies de plantas em todo o mundo. A maioria dessas espécies são dicotiledôneas, embora algumas monocotiledôneas de importância agrícola também sejam hospedeiras, como a cebola e a tulipa (Bolton et al., 2006). Com maior distribuição em regiões de clima temperado, *S. sclerotiorum* ocorre em mais 95 países e em quase todos os continentes, incluindo África, Ásia, Austrália, Europa, América do Norte e América do Sul, sendo que o patógeno é particularmente bem adaptado em regiões chuvosas e mais frias (Willbur et al., 2019)

O mofo-branco é uma das doenças mais importantes da cultura soja no Brasil, estimando-se uma área infestada de cerca de 27% do total da área de produção no país (Meyer et al., 2020). O potencial de redução de produtividade chegar a 70% em áreas altamente infestadas e quando as condições ambientais forem favoráveis ao desenvolvimento da doença e medidas de controle não sejam adotadas a tempo (Meyer et al., 2016). As perdas de rendimento são causadas pela redução da quantidade e do peso dos grãos, resultante do apodrecimento dos tecidos da planta, principalmente da haste principal e órgãos reprodutivos. Para cada ponto percentual de aumento da incidência de mofo-branco ocorre uma redução média na produtividade da soja de 17,2 kg ha⁻¹, e um incremento na produção de escleródios de 100 g ha⁻¹ (Lehner et al., 2016).

É uma doença de difícil manejo, considerando-se a ausência de resistência genética em cultivares comerciais, a ampla gama de hospedeiros alternativos e a capacidade de produzir abundante quantidade de escleródios, suas estruturas de sobrevivência no solo, que permitem a manutenção de inóculo primário de uma safra para a outra (Brustolin et al., 2016; Willbur et al., 2019). Desta forma, a integração de medidas de controle é primordial para o sucesso do manejo do mofo-branco em áreas infestadas, devendo-se adotar todas as recomendações de medidas culturais, controle químico e controle biológico.

O emprego destas medidas de manejo requer conhecimento da dinâmica do patossistema, para que elas efetivamente interfiram no ciclo biológico de *S. sclerotiorum* e nas suas relações com a planta

hospedeira, de modo a evitar a doença. Vários fatores estão relacionados à eficiência do manejo do mofo-branco, como a necessidade de condicionamento de solo para o estabelecimento de agentes antagonistas, a manutenção de cobertura uniforme do solo com palhada, a escolha adequada de culturas não hospedeiras em sucessão, a utilização de cultivares de soja com características agrônômicas que reduzam o progresso da doença, a aplicação de agentes de biocontrole em condições ambientais favoráveis ao estabelecimento dos antagonistas, o controle químico preventivo com a pulverização de fungicidas específicos nos momentos de maior favorabilidade de infecção nas plantas, entre outros (Campos et al., 2010; Görgen et al., 2010; Willbur et al., 2019).

Nesse capítulo pretende-se apresentar e discutir informações que contribuem para o manejo integrado do mofo-branco na cultura da soja, com ênfase no controle biológico.

Caracterização do patógeno

Sclerotinia sclerotiorum (Lib.) de Bary é um fitopatógeno necrotrófico, pertencente ao reino Fungi, filo Ascomycota, classe Discomycetes, ordem Helotiales, família Sclerotiniaceae, gênero *Sclerotinia* (Bolton et al., 2006).

As hifas são hialinas, septadas, ramificadas e multinucleadas. O micélio apresenta-se branco ou esbranquiçado no meio de cultura e na planta. Não produz conídios assexuados. A sobrevivência a longo prazo ocorre pela produção de escleródios, que são estruturas de forma e tamanho variados, formados pelo enovelamento de micélio, revestido por uma camada externa pigmentada pela presença de melanina, de coloração preto fosco, e no interior, é composto por uma matriz filamentosa constituída por carboidratos, β -glucanas primárias e proteínas (Bolton et al., 2006; Saharan; Mehta, 2008).

Estudos realizados em condições de campo mostram que os escleródios podem permanecer viáveis no solo por até oito anos em países de clima temperado (Adams; Ayers, 1979), mas nas condições tropicais e subtropicais do Brasil, em sistema de semeadura direta sobre palha de gramíneas, a viabilidade dos escleródios é de até 12 meses (Menezes et al., 2014; Brustolin et al., 2016).

A sobrevivência dos escleródios também depende da profundidade em que eles se encontram enterrados e da disponibilidade de água no solo. Segundo Smolinska e Kowalska (2018), escleródios posicionados em camadas de 10 cm a 30 cm sobreviveram por mais tempo que os posicionados na superfície (0 a 5 cm), assim como em solo inundado a sobrevivência não ultrapassou 45 dias. Menezes et al. (2014) concluiu que a viabilidade de escleródios é mais dependente da manutenção da umidade na superfície do solo do que da cobertura de solo com palhada, observando maior mortalidade nos tratamentos sob irrigação na entressafra, em condições de cerrado, independente da presença de cobertura com palhada.

Os escleródios podem germinar emitindo micélio - germinação miceliogênica - ou formando apotécios - germinação carpogênica, dependendo das condições ambientais (Bolton et al., 2006; Saharan; Mehta, 2008).

A germinação miceliogênica produz hifas infecciosas, podendo colonizar e infectar tecidos vegetais tenros de algumas culturas como o feijão, girassol, canola, batata, nabo-forrageiro e hortaliças,

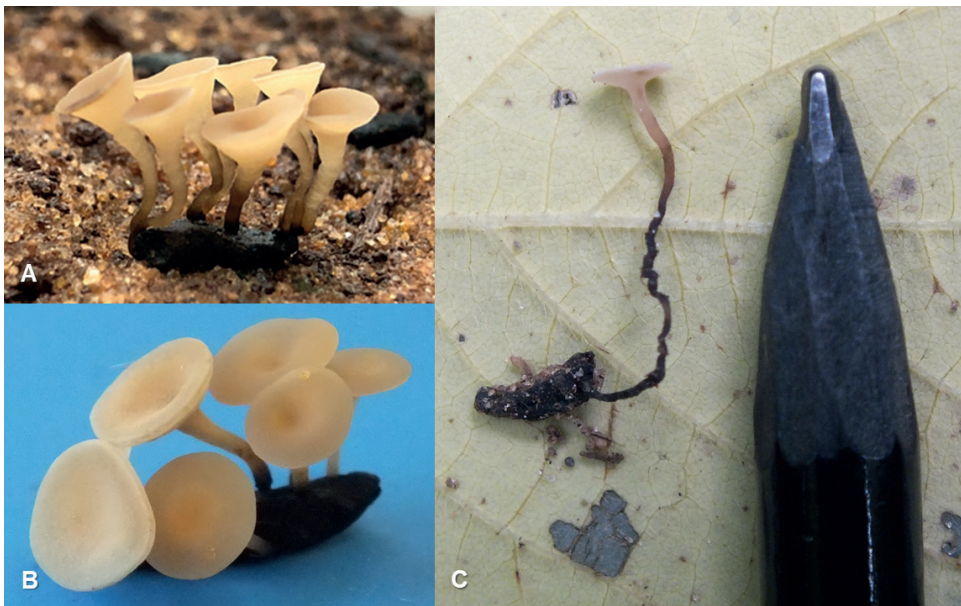
necessitando da presença de matéria orgânica como fonte de nutrição do fungo até efetivar a infecção (Abawi; Grogan, 1979; Bolton et al., 2006; Saharan; Mehta, 2008). A germinação miceliogênica não é a fonte mais frequente de infecção primária na cultura da soja (Grau; Hartman, 2015).

A germinação carpogênica consiste na formação de apotécios pelos escleródios, que são estruturas em forma de corneta ou taça (Figura 1), de coloração bege a amarelo-amarronzado, constituído por uma haste (estipe) que emerge do escleródio, formando um himênio na extremidade, medindo de 4 mm a 8 mm de diâmetro. No himênio são produzidos os ascosporos, que são os esporos sexuados do patógeno (Peltier et al., 2012).

A quantidade de água disponível no solo influencia diretamente o número de apotécios produzidos por escleródio e o tamanho dos apotécios refletindo, por conseguinte, no tempo de produção de ascosporos por apotécio. Umidade de solo acima de 60% da capacidade de campo é necessária para a plena produção de apotécios e ascosporos (Meyer et al., 2010).

Cada apotécio leva em média 10 a 14 dias para se formar, em condições de umidade de solo acima de 80% da capacidade de campo e temperaturas amenas (15° C a 18° C), e permanece produzindo ascosporos por um período de cinco a 10 dias, estimando-se que sejam gerados mais de dois milhões de ascosporos nesse período (Steadman, 1983).

Os escleródios precisam estar posicionados a até 5 cm de profundidade no solo para que ocorra a germinação carpogênica, mas a grande maioria dos apotécios observados no campo geralmente se encontram próximos à superfície do solo (Steadman, 1983; Görden et al., 2010).



Fotos: Maurício C. Meyer

Figura 1. Germinação carpogênica de escleródios de *Sclerotinia sclerotiorum*, com elevada formação de apotécios (A e B), e de um escleródio enterrado a cerca de 3 cm de profundidade no solo, mostrando a capacidade de elongação da estipe (C).

A produção de ascósporos ocorre constante e gradualmente dentro das ascas e, à medida que vão madurando, são ejetados simultaneamente dos apotécios toda vez que ocorre uma mudança repentina de umidade relativa do ar. Essas descargas forçadas formam bafejos de ascósporos cuja turbulência favorece a dispersão aérea e o alcance do dossel das plantas (Steadman, 1983). De acordo com Clarkson et al. (2003), em condições ideais de ambiente, estas descargas podem chegar a taxa de 1600 ascósporos por hora.

Ao alcançar a parte aérea das plantas de soja, os ascósporos necessitam de temperatura amena (15° C a 25° C) e período de molhamento foliar de duas a quatro horas, colonizando preferencialmente flores senescentes, de onde se formam micélio infectivo que pode penetrar diretamente na cutícula mediante degradação enzimática, força mecânica ou através dos estômatos, iniciando as lesões nas hastes e pecíolos da planta (Willbur et al., 2019; Grau; Hartman, 2015).

À medida que a doença progride produzindo micélio em abundância, formam-se novos escleródios que irão recompor a fonte primária de inóculo para os cultivos dos anos subsequentes (Willbur et al., 2019; Bolton et al., 2006; Grau; Hartman, 2015)

Biocontrole de *Sclerotinia sclerotiorum*

Dentre os agentes de controle biológico com potencial de controle de *S. sclerotiorum* estudados encontram-se bactérias e fungos de oito gêneros (Tabela 1). Esses antagonistas podem atuar de diferentes formas no biocontrole do patógeno, tais como antibiose, micoparasitismo e competição. Também são relatadas atividades de promoção de crescimento e indução de resistência na planta hospedeira. A grande maioria dos trabalhos científicos são realizados *in vitro* ou em casa de vegetação, no entanto, quando tais estudos avançam para pesquisas de campo, a expectativa da redução da doença e dos ganhos de produtividade têm se confirmado.

Tabela 1. Relação de microrganismos antagonísticos à *Sclerotinia sclerotiorum* estudados e seus respectivos potenciais de uso em biocontrole.

Microrganismo	Potencial de uso	Referências
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Biocontrole	Abdullah et al., 2008; Wu, et al., 2014
<i>Bacillus cereus</i>	Promoção de crescimento e redução da infecção da doença	Vitorino et al., 2020
<i>Bacillus pumilus</i>	Antagonismo	Otávio et al., 2018.
<i>Bacillus subtilis</i>	Biocontrole	Gabardo et al., 2020; Zhang et al., 2010; Zeng et al., 2012; Otávio et al., 2018
<i>Clonostachys rosea</i>	Redução da germinação carpogênica e redução da doença	Borel, 2014
<i>Coniothyrium minitans</i>	Biocontrole	Campbell, 1947; Zeng et al., 2012
<i>Myrothecium</i> sp.	Inibição do crescimento micelial, redução da severidade e retardo da infecção	Barros et al., 2015
<i>Pythium oligandrum</i>	Biocontrole	Rey et al., 2008
<i>Sporidesmium sclerotivorum</i>	Biocontrole, redução incidência da doença a campo	Del Rio et al., 2002
<i>Streptomyces lydicus</i>	Biocontrole	Zeng et al., 2012

Continua

Tabela 1. Continuação

Microrganismo	Potencial de uso	Referências
<i>Trichoderma</i> spp.	Biocontrole	Conto et al., 2021
<i>Trichoderma asperellum</i>	Antagonismo, redução da incidência da doença e ganho de produtividade	Juliatti et al., 2019
	Biocontrole	Gabardo et al., 2020
<i>Trichoderma asperelloides</i>	Biocontrole e promoção de crescimento de plantas	Haddad et al., 2017; Sumida et al., 2018
	Ativação de enzimas de defesa vegetal	Sumida et al., 2018
<i>Trichoderma atroviride</i>	Biocontrole e promoção de crescimento de plantas	Haddad et al., 2017.
	Redução da incidência da doença e ativação de enzimas de defesa vegetal	Menendez, Godeas, 1998; Zhang et al., 2016
	Associação com solarização no controle <i>S. sclerotiorum</i>	Pereira et al, 1996
<i>Trichoderma harzianum</i>	Biocontrole	Abdullah et al., 2008; Juliatti et al., 2019; Zeng et al., 2012; Zhang et al., 2016
	Redução da incidência da doença e ganho de produtividade	Juliatti et al., 2019
<i>Trichoderma koningiopsis</i>	Biocontrole e promoção de crescimento de plantas	Haddad et al., 2017.
<i>Trichoderma virens</i>	Biocontrole e promoção de crescimento de plantas	Haddad et al., 2017

No Brasil os produtos comerciais com alvo biológico para *S. sclerotiorum* estão restritos ao gênero *Bacillus*, sendo o *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e o *Bacillus velezensis* e ao gênero *Trichoderma* com *T. harzianum*, *T. asperellum* e *T. afroharzianum* (Tabela 2).

Formulações de biofungicidas contento dois ou mais gêneros e/ou espécies de antagonistas têm sido registradas recentemente no Brasil, como, por exemplo, a associação de *B. amyloliquefaciens*, *T. harzianum*, *T. asperellum*. Tais associações, desde que sejam compatíveis, ampliam o espectro de ação dos agentes de biocontrole, haja visto que podem combinar diferentes mecanismos de ação e promover um controle mais efetivo dos escleródios.

Tabela 2. Biofungicidas registrados no Brasil para controle de *Sclerotinia sclerotiorum* (Mapa, 2022).

Agentes de biocontrole	Empresa	Produto comercial
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Iharabras S.A. Indústrias Químicas	Eco-Shot
<i>B. amyloliquefaciens</i>	Mitsui & Co. (Brasil) S.A.	Amylo-X SL
<i>B. amyloliquefaciens</i>	Simbiose Indústria e Comércio de Fertilizantes e Insumos Microbiológicos Ltda.	Nemacontrol
<i>B. amyloliquefaciens</i>	Simbiose Indústria e Comércio de Fertilizantes e Insumos Microbiológicos Ltda.	Faciens Protection
<i>B. amyloliquefaciens</i>	Simbiose Indústria e Comércio de Fertilizantes e Insumos Microbiológicos Ltda.	Inlayon
<i>B. amyloliquefaciens</i> + <i>Trichoderma harzianum</i>	Agrivalle Brasil Indústria e Comércio de Produtos Agrícolas Ltda.	Native

Tabela 2. Continuação

Agentes de biocontrole	Empresa	Produto comercial
<i>B. amyloliquefaciens</i> + <i>T. harzianum</i>	Agrivalle Brasil Indústria e Comércio de Produtos Agrícolas Ltda.	Shocker
<i>B. amyloliquefaciens</i> + <i>T. harzianum</i>	Massen Produtos Biológicos S.A.	Torpeno
<i>B. amyloliquefaciens</i> , isolado CCT 7901 + <i>T. harzianum</i> , isolado URM8119 + <i>T. asperellum</i> , isolado URM8120	Ballagro Agro Tecnologia Ltda.	BF 20.001
<i>B. amyloliquefaciens</i> , isolado CCT 7901 + <i>T. harzianum</i> , isolado URM8119 + <i>T. asperellum</i> , isolado URM8120	Ballagro Agro Tecnologia Ltda.	Pardella
<i>B. amyloliquefaciens</i> , isolado CCT 7901 + <i>T. harzianum</i> , isolado URM8119 + <i>T. asperellum</i> , isolado URM8120	Biota Innovations Indústria e Comércio de Bioprodutos Ltda.	Tanus
<i>B. amyloliquefaciens</i> , isolado CCT 7901 + <i>T. asperellum</i> isolado URM 8120 + <i>T. harzianum</i> , isolado URM 8119	Cooperativa Mista de Desenvolvimento do Agronegócio/ COMDEAGRO	Tricozak
<i>Bacillus subtilis</i>	Bayer S.A.	Serenade
<i>B. subtilis</i>	Biotrop Soluções Biológicas e Participações Ltda.	Paladyo
<i>B. subtilis</i>	Biotrop Soluções Biológicas e Participações Ltda.	Promobio
<i>B. subtilis</i>	Biotrop Soluções Biológicas e Participações Ltda.	Furatrop
<i>B. subtilis</i>	Vittia Fertilizantes e Biológicos S.A.	Multi-Guard
<i>B. subtilis</i>	Vittia Fertilizantes e Biológicos S.A.	Multi-attack
<i>B. subtilis</i>	Vittia Fertilizantes e Biológicos S.A.	Bio-Imune
<i>B. subtilis</i> + <i>Bacillus velezensis</i> , isolado CNPSO 3602	FMC Química do Brasil Ltda.	Provilar
<i>Trichoderma afroharzianum</i> cepa Th2RI99	Rizobacter do Brasil Ltda.	Rizoderma TSI
<i>Trichoderma asperellum</i>	Novozymes Bioag Produtos para Agricultura Ltda.	Trichodermax EC
<i>T. asperellum</i>	Vittia Fertilizantes e Biológicos S.A.	Tricho-Guard
<i>T. asperellum</i>	Vittia Fertilizantes e Biológicos S.A.	Tricho-Turbo
<i>T. asperellum</i> , isolado URM-5911	Lallemand Soluções Agrobiológicas Ltda.	Quality
<i>T. asperellum</i> , isolado CBMAI 1622	Genica Inovação Biotecnológica S.A.	Congregga
<i>T. asperellum</i> , isolado CBMAI 1622	Genica Inovação Biotecnológica S.A.	GNC006-2
<i>T. harzianum</i>	Ballagro Agro Tecnologia Ltda.	Tritter
<i>T. harzianum</i>	Ballagro Agro Tecnologia Ltda.	Ecotrich WP
<i>T. harzianum</i>	Ballagro Agro Tecnologia Ltda.	Predatox
<i>T. harzianum</i>	Ballagro Agro Tecnologia Ltda.	Rizoderma
<i>T. harzianum</i>	Biocontrol Sistema de Controle Biológico Ltda.	Trichodermaiz WP
<i>T. harzianum</i>	Koppert Do Brasil Holding Ltda.	Daytona
<i>T. harzianum</i>	Koppert Do Brasil Holding Ltda.	Trichodermil SC 1306
<i>T. harzianum</i>	Koppert do Brasil Holding Ltda.	Trichodermil Super SC 1306
<i>T. harzianum</i>	Koppert do Brasil Holding Ltda.	Trianum DS

Continua

Tabela 2. Continuação

Agentes de biocontrole	Empresa	Produto comercial
<i>T. harzianum</i>	Koppert do Brasil Holding Ltda.	Triatum WG
<i>T. harzianum</i>	Mezfer Br Soluções Agrícolas Ltda.	Natucontrol
<i>T. harzianum</i>	Simbiose Indústria e Comércio de Fertilizantes e Insumos Microbiológicos Ltda.	Biagro Solo
<i>T. harzianum</i>	Simbiose Indústria e Comércio de Fertilizantes e Insumos Microbiológicos Ltda.	Stimucontrol Evolution
<i>T. harzianum</i>	Simbiose Indústria e Comércio de Fertilizantes e Insumos Microbiológicos Ltda.	Plant Protection
<i>T. harzianum</i>	Simbiose Indústria e Comércio de Fertilizantes e Insumos Microbiológicos Ltda.	Stimucontrol
<i>T. harzianum</i>	Simbiose Indústria e Comércio de Fertilizantes e Insumos Microbiológicos Ltda.	GreenControl
<i>T. harzianum</i>	TZ Biotec Ltda.	Trychond FR 25
<i>T. harzianum</i> , cepa T-22	Koppert do Brasil Holding Ltda.	Walker

O principal mecanismo de ação de *Trichoderma* spp. no controle de *S. sclerotiorum* é o micoparasitismo, crescendo e parasitando escleródios e apotécios (Figura 2), degradando a parede celular das estruturas do patógeno pela ação de enzimas quitinolíticas, principalmente quitinases, glucanases, proteases e celulases. Além do micoparasitismo, a antibiose e a indução de resistência em plantas também são citadas como mecanismos de ação prevalentes no controle de *S. sclerotiorum* (Smolinska; Kowalska, 2018; Monte et al., 2019).

Os mecanismos de ação de *Bacillus* spp. no controle de *S. sclerotiorum* não são muito bem conhecidos, mas um de seus principais efeitos é a inibição da germinação carpogênica e do crescimento micelial do patógeno (Smolinska; Kowalska, 2018; Meyer et al., 2019; Meyer et al., 2020). Este gênero de bactérias produz uma gama de compostos antifúngicos e antibacterianos que suprimem o desenvolvimento de vários fitopatógenos, além de também promoverem a indução de resistência sistêmica em plantas (Vinodkumar et al., 2017; Smolinska; Kowalska, 2018). Não é comum encontrar colonização direta de *Bacillus* spp. sobre escleródios de *S. sclerotiorum*, formando exsudato bacteriano, mas pode ocorrer (Figura 2).

Manejo da doença

No manejo do mofo-branco é necessário levar em consideração o ciclo da doença na cultura da soja e as características biológicas do patógeno para reconhecer os momentos específicos de se intervir com as medidas de controle mais eficientes. Trata-se de uma doença monocíclica, ou seja, o patógeno consegue completar apenas um ciclo biológico durante o ciclo da cultura, e o patógeno é necrotrófico, o que significa que ele precisa desestruturar os tecidos vegetais para sua nutrição a partir de tecidos mortos do hospedeiro (Agrios, 2005). Sendo assim, após o aparecimento dos sinais e sintomas do mofo-branco, os danos às plantas já estão estabelecidos e são irreversíveis, devendo as medidas de controle serem adotadas sempre preventivamente. Além disso, *S. sclerotiorum* é extremamente polífago, apresentando mais de 400



Foto: Máuricio C. Meyer

Figura 2. Escleródios e apotécios de *Sclerotinia sclerotiorum* infectados por *Trichoderma* sp. (A e B) e escleródio recoberto por exsudato bacteriano (C).

espécies de hospedeiros, o que restringe as possibilidades de culturas para rotação/sucessão e também requer maior atenção ao controle de plantas invasoras (Bolton et al., 2006).

O manejo da doença tem como objetivos estratégicos a redução do banco de escleródios no solo (inóculo) e a redução da sua incidência na lavoura. As principais medidas de controle são: formação de palhada para cobertura uniforme do solo, preferencialmente oriunda de gramíneas; rotação e/ou sucessão com culturas não hospedeiras; emprego de controle biológico através da infestação do solo com agentes antagonistas; utilização de sementes de boa qualidade e tratadas com fungicidas sistêmicos; emprego de controle químico, através de pulverizações foliares de fungicidas principalmente no período de maior vulnerabilidade da planta (estádios de pré-fechamento das entrelinhas ou R1 até R4); escolha de cultivares com arquitetura de plantas que favoreça uma boa aeração entre plantas (pouco ramificadas e com folhas pequenas) e com período mais curto de florescimento, e, a utilização de população de plantas e espaçamento entrelinhas adequados às cultivares. Outra medida que contribui significativamente na redução da dispersão de *S. sclerotiorum* é a limpeza de máquinas e equipamentos após utilização em área infestada para evitar a disseminação de escleródios para novas áreas. A efetividade do controle do mofo-branco em

soja só é conseguida com a integração dessas medidas, não apresentando resultados satisfatórios isoladamente (Meyer et al., 2016; Wilbur et al., 2019).

Como o principal alvo no manejo de mofo-branco são os escleródios de *S. sclerotiorum*, o controle biológico é o principal meio de atingi-lo, através da infestação do solo com os biofungicidas e também pelo condicionamento do solo para o estabelecimento de antagonistas introduzidos e nativos de diversas espécies (Figura 3).



(Fotos: Maurício C. Meyer)

Figura 3. Escleródios e apotécios de *Sclerotinia sclerotiorum* parasitados por *Fusarium* sp. e por *Trichoderma* sp. (A) ou somente por *Fusarium* sp. (B); apotécios deformados por causa desconhecida (C); escleródios e apotécios atacados por larvas de insetos (D e E).

Este condicionamento refere-se à manutenção da umidade superficial do solo, fornecimento de matéria orgânica e redução da temperatura do solo (Nieto-Jacobo et al., 2017), tornando o ambiente do solo favorável tanto ao estabelecimento dos agentes de controle biológico, quanto à germinação carpopogênica. Para se atingir esse objetivo, a melhor opção é a adoção do sistema de plantio direto sobre palha, cultivando-se gramíneas que proporcionem uma farta e uniforme cobertura de solo na entressafra (Görgen et al., 2010; Wilbur et al., 2019). Além desse benefício, a palhada de cobertura de solo exerce outras duas funções também importantes no controle de mofo-branco em soja, que são o estabelecimento de uma barreira física, atuando como um filtro que retém os ascósporos ejetados sob a camada de palha (Figura 4) e, a outra função, é de estimular a germinação carpopogênica num período de ausência de cultura suscetível à doença durante a entressafra, promovendo o esgotamento das reservas e a consequente inativação dos escleródios (Görgen et al., 2008; Görgen et al., 2010).

A aplicação de biofungicidas deve ser realizada antes da germinação dos escleródios, ou seja, quando os escleródios se encontram em repouso no solo (Meyer et al., 2019). Considerando-se o sistema de produção de soja prevalente nas áreas de incidência de mofo-branco, o período de promoção do biocontrole de escleródios de *S. sclerotiorum* compreende toda a entressafra após a colheita da soja até o final do período vegetativo da cultura da soja na safra seguinte (Figura 4), sendo limitado pela escassez de chuvas e pelas baixas temperaturas no inverno, características em determinadas regiões.

Durante a cultura da soja, tem-se observado bons resultados de inviabilização de escleródios com duas aplicações de biofungicidas no início do estágio vegetativo (V2-V3 e V4-V5), a intervalos de cerca de 10 dias (Meyer et al., 2019). O efeito de biocontrole pela aplicação de *T. harzianum* na entressafra, comparando-se a presença e ausência de cobertura de palhada de *Urochloa ruziziensis* em condição de cerrado, foi estudado por Görgen et al. (2008), apontando uma taxa de mortalidade de escleródios de 80% nas parcelas com cobertura de palha, contra 42% nas parcelas sem palha; 97% de parasitismo de escleródios por *T. harzianum* nas parcelas com cobertura de palha, contra 45% nas parcelas sem palha; 2 apotécios/m² nas parcelas com cobertura de palha, contra 18 apotécios/m² nas parcelas sem palha.

O percentual médio de inibição de germinação carpopogênica de escleródios de *S. sclerotiorum* com duas aplicações de formulações de *T. harzianum* e *T. asperellum*, no início da fase vegetativa da cultura da soja, variou de 42% a 64% em experimentos de campo nas safras de 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016



Fotos: Sérgio M. Mazaro (A) e Maurício C. Meyer (B e C)

Figura 4. Uniforme cobertura de solo com palhada de trigo (A), de milho (B) e colonização de palhada com *Trichoderma* sp. (C).

(Meyer et al., 2016). Nos experimentos da safra 2019/2020, a inibição de germinação carpogênica variou de 20% a 36% com aplicação de formulações únicas ou combinadas de *Trichoderma* spp., e os percentuais de escleródios inviáveis variaram de 8,4% a 19,9% (Meyer et al., 2020).

Nas safras agrícolas de 2019/2020 e 2020/2021 foram avaliados no sul do Brasil o potencial de controle de formulações de *T. harzianum*, *B. subtilis* e a associação de *T. harzianum* + *T. asperellum* + *B. amyloliquefaciens*, através da taxa de colonização de escleródios dispostos nas entrelinhas do cultivo da soja, com aplicações em V2 e V4, observando-se a eficiência nos dois anos de cultivo, sendo que *T. harzianum* e *B. subtilis* não diferiram quanto a eficiência de colonização com média de 46% de controle e, no tratamento com a associação de *T. harzianum* + *T. asperellum* + *B. amyloliquefaciens*, o percentual médio de controle aumentou para 64%. A autora sugere que o elevado índice de colonização está relacionado à presença de abundante volume de palhada de cobertura de solo, que proporcionou ambiente altamente favorável ao estabelecimento dos agentes de biocontrole (Schmoller, 2021).

Conforme Meyer et al. (2019), para a eficiência do controle biológico, condições de ambiente semelhantes às que favorecem a germinação dos escleródios (alta umidade no solo, temperatura do ar entre 15 °C e 25 °C e pouca incidência de luz solar) são necessárias para o estabelecimento dos agentes de biocontrole. Nesse sentido, a presença de cobertura de solo com palhada é condicionante ao estabelecimento dos antagonistas, o que determina a eficiência do biocontrole. Ainda quando se utiliza a associação de plantas de cobertura em mistura de espécies, em sucessão à cultura da soja, tem-se favorecido a diversidade de espécies na biota do solo (Figura 5), o que aumenta o controle biológico de fitopatógenos como *S. sclerotiorum*.

Considerando a necessidade de integração das medidas de controle para o sucesso do manejo de mofo-branco, é sugerido um modelo que combina as principais práticas culturais com os controles químico e biológico, seguindo uma linha do tempo no sistema de produção de soja (Figura 6).



Foto: Sérgio M. Mazaro

Figura 5. Amostra de escleródios dentro de sacos de tela de náilon, mostrando a colonização por diferentes microrganismos, após exposição por 20 dias nas entrelinhas da cultura da soja, semeada após o cultivo de mistura de espécies de plantas de cobertura.

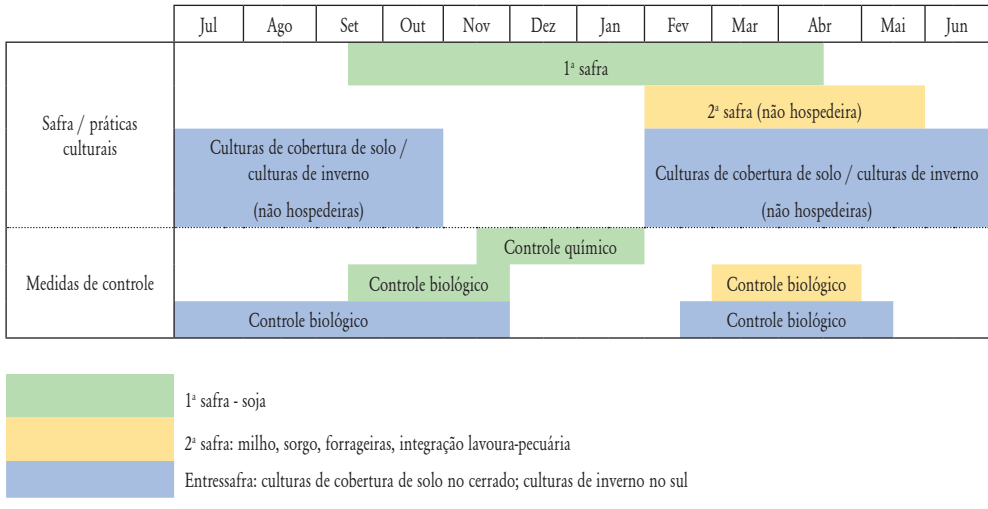


Figura 6. Sugestão de linha do tempo para o uso de agentes de biocontrole no manejo de mofo-branco em soja no Brasil.

Nota: os biofungicidas são aplicados uma ou duas vezes em cada safra, apenas quando as condições ambientais estejam ideais (dias chuvosos).

Considerações finais

O manejo do mofo-branco requer a adoção conjunta de medidas culturais, uso de fungicidas e de agentes de controle biológico, com o objetivo de redução do inóculo presente no solo e prevenir a incidência da doença.

As medidas culturais devem focar no esgotamento da reserva energética dos escleródios no solo, condicionamento do solo para o estabelecimento de antagonistas e no estabelecimento de barreiras que reduzam a dispersão dos ascósporos, fatores imprescindíveis para a redução da incidência do mofo-branco no campo.

A adoção de controle biológico de mofo-branco em soja deve ser orientado à associação de agentes com diferentes modos de ação e aplicados com tecnologia que permita atingir mais efetivamente o alvo biológico, em condições ambientais que permitam sua estabilização.

O emprego de controle químico deve ser mantido no manejo da doença, visando sempre a proteção preventiva das plantas, tendo-se como parâmetro de decisão da aplicação a presença de apotécios na lavoura.

Referências

- ABAWI, G. S.; GROGAN, R. G. Epidemiology of diseases caused by *Sclerotinia* species. **Phytopathology**, v. 69, pp. 899-904, 1979.
- ABDULLAH, M. T.; ALI, N. Y.; SULEMAN, P. Biological control of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary with *Trichoderma harzianum* and *Bacillus amyloliquefaciens*. **Crop Protection**, v. 27, n. 10, p. 1354-1359, 2008. DOI: 10.1016/j.cropro.2008.05.007
- ADAMS, P.B.; AYERS, W.A. Ecology of *Sclerotinia* species. **Phytopathology**, v. 69, n. 8, p. 896-898, 1979. DOI: 10.1094/Phyto-69-896.
- AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. 5th Edition. Academic Press. 2005. 952p.
- BARROS, D. C. M.; FONSECA, I. C. B.; BALBI-PEÑA, M. I.; PASCHOLATI, S. F.; PEITL, D. C. Biocontrol of *Sclerotinia sclerotiorum* and white mold of soybean using saprobic fungi from semi-arid areas of Northeastern Brazil. **Summa Phytopathologica**, v. 41, n. 4, p. 251-255, 2015. DOI:10.1590/0100-5405/2086
- BOLTON, M. D.; THOMMA, B. P. H. J.; NELSON, B. D. *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary: biology and molecular traits of a cosmopolitan pathogen. **Molecular Plant Pathology**, v. 7, n. 1, p. 1-16, 2006. DOI:10.1111/j.1364-3703.2005.00316.x
- BOREL, F. C. *Interaction of Sclerotinia sclerotiorum and Clonostachys rosea in soil and in plants of soybean and common bean*. 2014. 37 f. Dissertação (Mestrado em Etiologia; Epidemiologia; Controle) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- BRUSTOLIN, R.; REIS, E. M.; PEDRON, L. Longevity of *Sclerotinia sclerotiorum* sclerotia on the soil surface under field conditions. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 2, p. 172-174, 2016.
- CAMPBELL, W. A. A new species of *Coniothyrium* parasitic on sclerotia. **Mycologia**, v. 39, n. 2, p. 190-195, 1947. DOI: 10.1080/00275514.1947.12017603
- CAMPOS, H. D.; SILVA, L. H. C. P.; MEYER, M. C.; SILVA, J. R. C.; NUNES JUNIOR, J. Mofo-branco na cultura da soja e os desafios da pesquisa no Brasil. **Tropical Plant Pathology**, v.35, p. C-CI, 2010. Suplemento.
- CLARKSON, J. P.; STAVELEY, J.; PHELPS, K.; YOUNG, C. S.; WHIPPS, J. M. Ascospore release and survival in *Sclerotinia sclerotiorum*. **Mycological Research**, v. 107, p. 213-222, 2003.
- CONTO, L. M.; COSTA, F. A.; COSTA, A. C.; ULHOA, C. J. Potencial de isolados de *Trichoderma* spp. nativos em controlar o fungo *Sclerotinia sclerotiorum* e como promotor de crescimento na cultura da soja. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.3, p.30616-30632, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n3-673
- DEL RIO, L. E.; MARTINSON, C. A.; YANG, X. B. Biological control of *Sclerotinia* stem rot of soybean with *Sporidesmium sclerotivorum*. **Plant Disease**, v. 86, n. 9, pp. 999-1004, 2002. DOI: 10.1094/pdis.2002.86.9.999
- GABARDO, G.; DALLA PRIA, M.; PRESTES, A.; SILVA, H. *Trichoderma asperellum* e *Bacillus subtilis* como antagonistas no crescimento de fungos fitopatogênicos *in vitro*. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 55870-55885, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n8-123.
- GÖRGEN, C. A.; CIVARDI, E.; PERRETO, E.; CARNEIRO, L. C.; SILVEIRA NETO, A. N.; RAGAGNIN, V.; LOBO JUNIOR, M. **Controle de Sclerotinia sclerotiorum com o manejo de Brachiaria ruziziensis e aplicação de Trichoderma harzianum**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 4 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica, 81).
- GÖRGEN, C. A.; HIKISHIMA, M.; SILVEIRA NETO, A. N.; CARNEIRO, L. C.; LOBO JUNIOR, M. Mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*). In: ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S. (Eds.). **Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. p. 73-104.
- GRAU, C. R.; HARTMAN, G. L. *Sclerotinia* stem rot. In: HARTMAN, G. L.; RUPE, J. C.; SIKORA, E. J.; DOMIER, L. L.; DAVIS, J. A.; STEFFEY, K. L. **Compendium of soybean diseases and pests**. 5. ed. St. Paul, MN: **American Phytopathological Society**, 2015. p. 59-62.
- HADDAD, P.; LEITE, L.; LUCON, C.; HARAKAWA, R. Selection of *Trichoderma* spp. strains for the control of *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 12, p. 1140-1148, 2017. DOI: 10.1590/s0100-204x2017001200002.
- JULIATTI, F. C.; REZENDE, A. A.; JULIATTI, B. C. M.; MORAIS, T. P. *Trichoderma* as a biocontrol agent against *Sclerotinia* stem rot or white mold on soybeans in Brazil: usage and technology. In: Shah, M.M.; Sharif, U.; Buhari, T.R. (Eds.). **Trichoderma - the most widely used fungicide**. IntechOpen: London, UK, 2019. DOI: 10.5772/intechopen.84544
- LEHNER, M. S.; PETHYBRIDGE, S. J.; MEYER, M. C.; DEL PONTE, E. M. Meta-analytic modelling of the incidence-yield and incidence-sclerotial production relationships in soybean white mold epidemics. **Plant Pathology**, v.66, n. 3, p 460-468, 2016.
- MAPA. **Agrofit: consulta aberta**. 2022. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agro_fit_cons>. Acesso em: 10 mar. 2022.

- MENENDEZ, A. B.; GODEAS, A. Biological control of *Sclerotinia sclerotiorum* attacking soybean plants. Degradation of the cell walls of this pathogen by *Trichoderma harzianum* (BAFC 742). Biological control of *Sclerotinia sclerotiorum* by *Trichoderma harzianum*. *Mycopathologia*, v. 142, n. 3, p. 153-160, 1998. DOI: 10.1023/a:1006910707804
- MENEZES, A. F.; MACHADO, T. A.; CARVALHO, P. H.; MEYER, M. C. Longevidade de escleródios de *Sclerotinia sclerotiorum* sob diferentes formas de manejo de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 47.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MOFO BRANCO, 2014, Londrina. Desafios futuros: **anais**. Londrina: SBF, 2014. 1 CD-ROM.
- MEYER, M. C.; FERREIRA, L. C.; BAYLÃO, B. S. G.; COSTA, N. B.; GUERZONI, R. A.; PIMENTA, C. B.; NUNES JUNIOR, J.; VENANCIO, W. S. Efeito da disponibilidade de água no solo sobre a germinação carpogênica de *Sclerotinia sclerotium*, agente causal do mofo branco da soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 31., 2010, Brasília, DF. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2010. p. 217-219.
- MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M. (Eds.). **Ensaios cooperativos de controle biológico de mofo-branco na cultura da soja - safras 2012 a 2015**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 46 p. (Embrapa Soja, Documentos, 368).
- MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; PIMENTA, C. B.; JACCOUD FILHO, D. S.; BORGES, E. P.; JULIATTI, F. C.; NUNES JUNIOR, J.; CARNEIRO, L. C.; SILVA, L. H. C. P. DA; SATO, L. N.; GOUSSAIN, M.; MARTINS, M. C.; TORMEN, N. R.; BALARDIN, R. S.; VENANCIO, W. S. **Eficiência de fungicidas para controle de mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) em soja, na safra 2016/17: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 5 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 133).
- MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; NUNES JUNIOR, J.; GOUSSAIN JUNIOR, M. M.; JACCOUD FILHO, D. S.; JULIATTI, F. C.; MARTINS, M. C.; VENANCIO, W. S.; CARNEIRO, L. C.; SILVA, L. H. C. P.; DIAS, A. R.; BORGES, E. P.; ITO, M. F. Mofo-branco em soja - ensaios cooperativos. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. da (Eds.). **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 417-432.
- MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; OLIVEIRA, M. C. N.; NUNES JUNIOR, J.; LOBO JUNIOR, M.; JACCOUD FILHO, D. DE S.; VENANCIO, W. S.; MEDEIROS, F. H. V. DE; JULIATTI, F. C.; CARNEIRO, L. C.; BRUSTOLIN, R. **Experimentos cooperativos de controle biológico de *Sclerotinia sclerotiorum* na cultura da soja: resultados sumarizados da safra 2019/2020**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 19 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 163).
- 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. da (Eds.). **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 181-199.
- NIETO-JACOBO, M. F.; STEYAERT, J. M.; SALAZAR-BADILLO, F. B.; NGUYEN, D. V.; ROSTÁS, M.; BRAITHWAITE, M.; MENDOZA-MENDOZA, A. Environmental growth conditions of *Trichoderma* spp. affects indole acetic acid derivatives, volatile organic compounds, and plant growth promotion. *Frontiers in Plant Science*, v.8, a.102, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00102>
- PEREIRA, C. R.; CHAVES, G. M.; ZAMBOLIM, L.; MATSUOKA, K.; SILVA-ACUNA, R.; DO VALE, F. X. R. Controle integrado de *Sclerotinia sclerotiorum*. *Fitopatologia Brasileira*, v. 21, n. 2, p. 254-260, 1996.
- PELTIER, A. J.; BRADLEY, C. A.; CHILVERS, M. I.; MALVICK, D. K.; MUELLER, D. S.; WISE, K. A.; ESKER, P. D. Biology, yield loss and control of *Sclerotinia* stem rot of soybean. *Journal of Integrated Pest Management*, v. 3, n. 2, p. 1-7, 2012. DOI: 10.1603/ipm11033
- REY, P.; LE FLOCH, G.; BENHAMOU, N.; TIRILLY, Y. *Pythium oligandrum* biocontrol: its relationships with fungi and plants. In: BARKA, E.A.; CLÉMENT, C. (Eds.). **Plant-microbe interactions**. Trivandrum: Research Signpost, 2008. p. 43-67.
- SAHARAN, G. S.; MEHTA, N. ***Sclerotinia* diseases of crop plants: biology, ecology and disease management**. Dordrecht: Springer, 2008. 486 p.
- SCHMOLLER, I. **Biocontrole com *Trichoderma* e *Bacillus* à *Sclerotinia sclerotiorum* na cultura da soja**. 2021. 44 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias; Manejo e Conservação de Agroecossistemas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pato Branco.
- SMOLINSKA, U.; KOWALSKA, B. Biological control of the soil-borne fungal pathogen *Sclerotinia sclerotiorum* -- a review. *Journal of Plant Pathology*, v. 100, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42161-018-0023-0>
- STEADMAN, J. R. White mold - a serious yield-limiting disease of bean. *Plant Disease*, v. 67, n. 4, p. 346-350, 1983. DOI: 10.1094/PD-67-346.
- SUMIDA, C. H.; DANIEL, J. F. S.; ARAUJO, A. P. C. S.; PEITL, D. C.; ABREU, L. M.; DEKKER, R. F. H.; CANTERI, M. G. *Trichoderma asperelloides* antagonism to nine *Sclerotinia sclerotiorum* strains and biological control of white mold disease in soybean plants. *Biocontrol Science and Technology*, v. 28, n. 2, p. 142-156, 2018. DOI: 10.1080/09583157.2018.1430743
- VINODKUMAR, S.; NAKKEERAN, S.; RENUKADEVI, P.; MALATHI, V. G. Biocontrol potentials of antimicrobial peptide producing *Bacillus* species: multifaceted antagonists for the management of stem rot of carnation caused by *Sclerotinia sclerotiorum*. *Frontiers in Microbiology*, v. 8, a. 446, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00446>

- VITORINO, L. C.; SILVA, F. O. D.; CRUVINEL, B. G.; BESSA, L. A.; ROSA, M.; SOUCHIE, E. L.; SILVA, F. G. Biocontrol potential of *Sclerotinia sclerotiorum* and physiological changes in soybean in response to *Butia archeri* palm Rhizobacteria. **Plants**, v. 9, n. 1, a. 64, 23 p., 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9010064>
- WILLBUR, J.; MCCAGHEY, M.; KABBAGE, M.; SMITH, D. L. An overview of the *Sclerotinia sclerotiorum* pathosystem in soybean: impact, fungal biology, and current management strategies. **Tropical Plant Pathology**, v. 44, p. 3-11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40858-018-0250-0>
- WU, Y.; YUAN, J.; RAZA, W.; SHEN, Q.; HUANG, Q. Biocontrol traits and antagonistic potential of *Bacillus amyloliquefaciens* strain NJZJSB3 against *Sclerotinia sclerotiorum*, a causal agent of canola stem rot. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 24, n. 10, p. 1327-1336, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4014/jmb.1402.02061>
- ZENG, W.; WANG, D.; KIRK, W.; HAO, J. Use of *Coniothyrium minitans* and other microorganisms for reducing *Sclerotinia sclerotiorum*. **Biological Control**, v. 60, n. 2, p. 225-232, 2012. DOI: [10.1016/j.biocontrol.2011.10.009](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.10.009)
- ZHANG, F.; GE, H.; ZHANG, F.; GUO, N.; WANG, Y.; CHEN, L.; JI, X.; LI, C. Biocontrol potential of *Trichoderma harzianum* isolate T-aloe against *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean. **Plant Physiology and Biochemistry**, n. 100, p. 64-74, 2016. DOI: [10.1016/j.plaphy.2015.12.017](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.12.017)
- ZHANG, J. X.; XUE, A. G. Biocontrol of sclerotinia stem rot (*Sclerotinia sclerotiorum*) of soybean using novel *Bacillus subtilis* strain SB24 under control conditions. **Plant Pathology**, v. 59, n. 2, p. 382-391, 2010. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02227.x>