

Controle biológico de fungos fitopatogênicos

Marcelo Augusto Boechat Morandi¹

Trazilbo José de Paula Júnior²

Wagner Bettioli³

Hudson Teixeira⁴

Resumo - No modelo predominante da agricultura convencional, o controle das doenças é feito quase exclusivamente pela aplicação continuada e em larga escala de agrotóxicos, o que tem promovido diversos problemas de ordem ambiental. O desequilíbrio biológico resultante altera a ciclagem de nutrientes e da matéria orgânica, elimina organismos benéficos e reduz a biodiversidade. A evolução das vendas de fungicidas no Brasil tem apresentado crescimento constante, o que mostra a importância do controle de fungos fitopatogênicos na agricultura e a necessidade de desenvolvimento e introdução de alternativas de manejo. Nesse contexto, o controle biológico torna-se importante e tecnicamente justificável.

Palavras-chave: Controle alternativo. Manejo integrado. Fitopatógeno.

INTRODUÇÃO

Os fungos são o maior e o mais diverso grupo de organismos fitopatogênicos. Todas as plantas são atacadas por patógenos fúngicos e alguns deles podem causar doenças em diversas plantas. Associado a isso, o modelo predominante da agricultura convencional, que tem como base o retorno econômico imediato, preconiza o controle dos problemas fitossanitários quase exclusivamente pela aplicação continuada e em larga escala de agrotóxicos. Assim, têm surgido diversos problemas de ordem ambiental, como contaminação de alimentos, solo, água e animais, intoxicação de agricultores, resistência de patógenos a certos princípios ativos dos agrotóxicos, surgimento de doenças iatrogênicas (as que ocorrem devido ao uso de agrotóxicos), desequilíbrio biológico com alterações da ciclagem de nutrientes e da matéria

orgânica (MO), eliminação de organismos benéficos e redução da biodiversidade.

A proteção de plantas com agrotóxicos apresenta características atraentes, como a simplicidade, a previsibilidade e a necessidade de pouco entendimento dos processos básicos do agroecossistema. Para obter sucesso com a aplicação de um fungicida de amplo espectro, é importante saber como aplicar o produto, mas geralmente são necessárias poucas informações sobre ecologia e fisiologia de espécies, interações biológicas, ecologia de sistemas e ciclagem de nutrientes. Essa simplificação interessa basicamente à comercialização de insumos que interferem em muitas espécies e, conseqüentemente, desequilibram o sistema. Com o tempo, verifica-se que esse modelo é insustentável.

A comercialização de fungicidas tem apresentado crescimento expressivo no

Brasil nos últimos anos, o que mostra a importância do controle de fitopatógenos e a necessidade de desenvolvimento e introdução de alternativas de manejo. Entre essas alternativas, destaca-se o controle biológico.

A preocupação da sociedade com o impacto da agricultura no ambiente e a contaminação da cadeia alimentar com resíduos de agrotóxicos têm alterado o cenário agrícola, resultando no surgimento de segmentos de mercado para produtos diferenciados, tanto os produzidos sem o uso de agrotóxicos, como os portadores de selos que garantem que os agrotóxicos foram utilizados adequadamente. Além disso, o incremento dos custos com o controle químico, a perda de eficiência de alguns agrotóxicos, por causa da resistência dos organismos-alvo e os problemas ambientais advindos dessas práticas

¹Eng^o Agr^o, D.Sc., Pesq. Embrapa Meio Ambiente, Caixa Postal 69, CEP 13820-000 Jaguariúna-SP. Correio eletrônico: mmorandi@cnpma.embrapa.br

²Eng^o Agr^o, Ph.D., Pesq. U.R. EPAMIG ZM, Caixa Postal 216, CEP 36570-000 Viçosa-MG. Correio eletrônico: trrazilbo@epamig.br

³Eng^o Agr^o, D.Sc., Pesq. Embrapa Meio Ambiente, Caixa Postal 69, CEP 13820-000 Jaguariúna-SP. Correio eletrônico: bettioli@cnpma.embrapa.br

⁴Eng^o Agr^o, D.Sc., Pesq. U.R. EPAMIG ZM, Caixa Postal 216, CEP 36570-000 Viçosa-MG. Correio eletrônico: hudson@epamig.br

indicam a necessidade da busca de produtos biocompatíveis para o controle de fitopatógenos, entre os quais os agentes de biocontrole.

O controle biológico, no conceito abrangente apresentado por Cook e Baker (1983) é:

a redução da soma de inóculo ou das atividades determinantes da doença, provocada por um patógeno, realizada por um ou mais organismos que não o homem.

O termo antagonista é empregado para designar agentes biológicos com potencial para interferir nos processos vitais dos patógenos, estando esses agentes adaptados ecologicamente ao mesmo nicho que os ocupados pelos patógenos. Nessa visão, o controle biológico pode ser acompanhado por práticas culturais, para criar um ambiente favorável aos antagonistas e à resistência da planta hospedeira, bem como pelo melhoramento da planta, para aumentar a resistência ao patógeno ou adequar o hospedeiro para as atividades dos antagonistas. De forma mais pragmática, o controle biológico de doenças de plantas pode ser conceituado como sendo o controle de um microrganismo por meio de outro microrganismo.

Neste artigo, são abordados exemplos de controle biológico de fungos fitopatogênicos, abrangendo o conceito mais amplo de alteração do sistema produtivo e o uso de produtos à base de agentes de controle biológico como insumo dentro do sistema produtivo.

PRODUTOS BIOLÓGICOS PARA O CONTROLE DE FUNGOS

O controle biológico está em crescimento no Brasil, mas em progressão lenta, por falta de produtos biológicos disponíveis no mercado e pelo perfil conservador do agricultor brasileiro. A maior parte da comercialização de produtos microbianos é voltada para a agricultura convencional, principalmente para cultivos perenes e semiperenes e cultivos protegidos.

Em levantamento recente, Bettiol et al. (2009) verificaram que, de 109 produtos biológicos para o controle de doenças de plantas comercializados no mundo, 87 (80%) são recomendados para o controle de fungos. Destes, 45 (52%) são recomendados para patógenos veiculados pelo solo, 24 (28%) para patógenos da parte aérea ou pós-colheita e 18 (21%) para patógenos da parte aérea e de solo.

Entre os produtos disponíveis no Brasil, destacam-se aqueles à base de *Trichoderma* spp., recomendados, principalmente, para o controle de fungos habitantes do solo. Levantamento feito por Bettiol e Morandi (2009) indica que, em 2008, 13 empresas de seis Estados da região Centro-Sul do Brasil produziam e comercializavam preparados à base de *Trichoderma*. Geralmente, essas empresas utilizam a técnica de fermentação sólida em grãos de arroz, milho ou outros cereais, com volume de produção em torno de 550 t/ano. As formulações disponíveis no mercado incluem pós-molháveis, grânulos dispersíveis, suspensões concentradas, óleos emulsionáveis, grãos colonizados e esporos secos. *Trichoderma asperellum*, *T. harzianum*, *T. stromaticum* e *T. viride* são as principais espécies comercializadas. Em alguns produtos comercializados, entretanto, não há identificação de espécies. Entre os patógenos-alvo estão, principalmente, espécies de *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Macrophomina*, *Sclerotinia*, *Sclerotium*, *Botrytis* e *Crinipellis*, para as culturas de feijão, soja, algodão, fumo, morango, tomate, cebola, alho, plantas ornamentais e cacau. Alguns produtos são recomendados para o tratamento de substratos e de sementes. Apesar de não existir padronização nas metodologias, as empresas geralmente avaliam a qualidade de seus produtos por contagem de esporos (mínimo de 1×10^8 conídios/g), germinação (mínimo de 85%) e viabilidade (mínimo de $8,5 \times 10^7$ ufc/g). A vida de prateleira dos produtos varia de 30 a 180 dias em temperatura ambiente (aproximadamente 25°C) e 180 a 360 dias em geladeira ou câmara fria (4-6°C).

CONTROLE BIOLÓGICO DE FUNGOS VEICULADOS PELO SOLO

A ocorrência de doenças de plantas causadas por patógenos habitantes do solo indica a existência de desequilíbrio biológico. A alta taxa de mortalidade de patógenos e a baixa incidência de doenças em condições naturais devem-se a diversos mecanismos naturais, como parasitismo, competição e predação, estímulo à germinação seguida de exaustão e lise, diminuição das reservas do patógeno e antibiose (BETTIOL; GHINI 2005).

Os patógenos habitantes do solo são controlados por medidas que destroem as unidades propagativas, prevenindo a formação do inóculo no solo ou destruindo o inóculo presente em resíduos infectados, com consequente redução do vigor e da virulência do patógeno e promoção do desenvolvimento das plantas. O controle biológico de patógenos habitantes do solo pode ser obtido pela manipulação do ambiente e pela introdução de antagonistas no solo e em órgãos de propagação das plantas (COOK; BAKER 1983).

A manipulação do ambiente do solo contribui para inibir o aumento e a formação de inóculo do patógeno, desalojar os patógenos dos resíduos das culturas, destruir os propágulos dos patógenos e estimular a população de microrganismos benéficos e/ou antagônicos. As interações microbianas em alguns solos podem prevenir naturalmente o estabelecimento de patógenos ou inibir suas atividades. Entretanto, pouca atenção é dada a esse fenômeno, denominado solo supressivo, que não significa, necessariamente, a eliminação do patógeno, mas indica a supressão da doença. A supressividade de solos a patógenos pode ser por causa de suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Diversos organismos podem estar envolvidos nesse processo, incluindo fungos, bactérias, protozoários, ácaros, insetos, minhocas, nematoides, vírus e oomicetos. Há relatos de solos supressivos para diversas espécies de *Fusarium* (F.

oxysporum f. sp. *cubensis*, *F. oxysporum* f. sp. *pisi*, *F. oxysporum* f. sp. *dianthii*, *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*, *F. roseum* f. sp. *cerealis*, *F. culmorum*), *Verticillium albo-atrum*, *Sclerotium rolfsii*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium aphanidermatum*, *Phytophthora cinnamomi*, *Gaeumannomyces graminis*, entre outras (BETTIOL; GHINI 2005).

Como o uso de antagonistas raramente erradica os patógenos, o controle das doenças depende da manipulação do equilíbrio biológico existente no solo. As chances de sucesso do controle biológico são aumentadas quanto maior e mais variada for a comunidade microbiana do solo, havendo necessidade de intensificar as atividades dos antagonistas desejáveis presentes no solo. Algumas estratégias contribuem para intensificar as atividades dos antagonistas, como rotação de cultura, acréscimo de substratos orgânicos, alteração do pH do solo a um nível favorável aos antagonistas e desfavorável aos patógenos, métodos de cultivo que melhorem a estrutura do solo e favoreçam os antagonistas na profundidade do solo em que ocorre a infecção do hospedeiro, época de semeadura favorável ao desenvolvimento do hospedeiro e dos antagonistas, e irrigação que assegure o desenvolvimento do hospedeiro e favoreça os antagonistas.

Uma grande diversidade de antagonistas atua parasitando ou inibindo a germinação de estruturas de patógenos no solo, incluindo fungos filamentosos, como *T. harzianum*, *T. viride*, *T. koningii*, *T. pseudokoningii*, *Clonostachys rosea*, *Gliocladium virens*, *Coniothyrium minitans*, *Paecilomyces lilacinus*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium oxysporum* não patogênico, *Mucor*, *Sporidesmium sclerotivorum*, *Myrothecium verrucaria*, *Cladosporium cladosporioides*, *Talaromyces flavus*, *Trichothecium roseum* e *Ulocladium atrum*; leveduras, como *Epicoccum purpurascens*, *E. nigrum*, *Cryptococcus albidus* e *Pichia anomala*; e bactérias, como *Bacillus subtilis*, *B. pumilus*, *Pseudomonas fluorescens*, *P. putida*, *Erwinia herbicola* e *Streptomyces*.

O solo é o *habitat* de populações numerosas e variadas de todos os tipos de microrganismos e reservatório natural da grande diversidade genética destes. De modo geral, durante a maior parte do tempo, os microrganismos estão no solo em estado de inanição, pelas condições de estresse do solo e pela falta de MO. Por isso, quando se acrescenta MO ao solo, há uma explosão populacional dos microrganismos que perduram até que a MO volte a ser fator limitante. Em solos ricos em MO, a diversidade e a quantidade de microrganismos são elevadas. Estimativas indicam populações de bactérias da ordem de 10^8 a 10^9 /g de solo, fungos de 10^4 a 10^6 /g de solo, protozoários de 10^4 a 10^5 /g de solo e algas de 10^3 a 10^4 /g de solo. Esses organismos são essenciais para a vida na terra, por participarem da ciclagem de nutrientes e de todos os ciclos biológicos e geoquímicos, além de manter as populações dos organismos patogênicos em equilíbrio. Portanto, quanto mais complexa a atividade microbiana do solo melhor a qualidade de vida na terra (BETTIOL; GHINI 2005). A MO pode ainda servir como fonte de micronutrientes, hormônios, substâncias de sua própria decomposição e aminoácidos. Esses compostos químicos podem causar indução de resistência no hospedeiro ou controlar diretamente o patógeno. Entretanto, há necessidade de considerar as características da própria MO, pois nem sempre o efeito de sua adição é o de reduzir a intensidade de doenças (GHINI et al., 2007).

O sistema de plantio direto (PD), em que o preparo de solo é minimizado e não há arações e gradagens sucessivas, resulta em profunda alteração das populações de organismos que possuem fase saprofítica no solo. O maior potencial de inóculo, em razão da não eliminação dos restos de cultura, e o seu posicionamento mais próximo aos sítios de infecção garantem maior eficiência no processo de inoculação, favorecendo o desenvolvimento inicial mais severo de algumas doenças. Por outro lado, o PD pode propiciar maior tolerância

das plantas às doenças e à formação de um ambiente supressivo aos patógenos do solo, em razão dos maiores teores de nutrientes, MO e diversidade de microrganismos, além de melhor estrutura física que favoreça os antagonistas (ZAMBOLIM et al., 2001). A intensidade do mofo-branco do feijoeiro, causado por *S. sclerotiorum*, é menor, quando a cultura é semeada sobre palhada de milho, braquiária ou arroz, o que pode estar relacionado com a maior atividade biológica de inimigos naturais do patógeno em áreas de PD (NASSER; KARL 1998). A palhada sobre a superfície do solo também cria uma barreira física à dispersão dos ascósporos. A queima da palhada, prática usual entre muitos produtores, elimina essa barreira e torna o microclima desfavorável ao desenvolvimento de antagonistas, além de não atingir os escleródios presentes na camada superficial do solo. Em plantios no Cerrado brasileiro, observou-se que a sobrevivência de escleródios de *S. sclerotiorum* foi reduzida na palhada de gramínea, e que a ocorrência do mofo-branco foi menor em PD do que no convencional (NASSER et al., 1999).

Além da manipulação do ambiente para favorecer as populações de organismos naturalmente presentes no solo, a introdução de antagonistas específicos em áreas de cultivo é prática viável. Para que os antagonistas sejam eficientes no desalojamento dos patógenos presentes no solo, um período é necessário entre sua aplicação e o estabelecimento e a atuação sobre os patógenos. Dessa forma, as estruturas dos patógenos podem ser parasitadas, predadas ou inviabilizadas pela liberação de metabólitos produzidos pelos antagonistas.

Diversos produtos à base de *Trichoderma* são utilizados no Brasil para o controle de patógenos em substrato de produção de mudas, especialmente em hortaliças e ornamentais (MORANDI et al., 2005). A recomendação geral é a adição do fungo via líquida (irrigação) ou sólida (incorporação do substrato contendo esporos e micélio do fungo), após a desinfestação ou esteri-

lização do substrato e alguns dias antes da semeadura ou transplantio. O tratamento de sementes e mudas também é utilizado em diversas culturas.

No caso do fumo, o tombamento, causado pelos fungos de solo *Pythium*, *Sclerotinia* e *Rhizoctonia*, é muito importante nas áreas de cultivo no sul do País. Esses fungos podem ser controlados com produtos biológicos à base de *Trichoderma*. Esse antagonista parasita os principais patógenos nas mudas. No sistema *float*, o antagonista é misturado ao substrato na proporção de 100 g do produto/100 kg de substrato. Esse volume é suficiente para completar 200 bandejas de 200 células. Uma aplicação é suficiente para o controle do tombamento. *Trichoderma* é utilizado isoladamente, não havendo necessidade de mistura com outros produtos ou agentes. Essa estratégia tem sido adotada com vistas à redução do uso de agrotóxicos na

cultura, com conseqüente diminuição de riscos para produtores e consumidores. O uso dessa prática possibilitou a substituição do brometo de metila, usado para tratar o substrato (BETTIOL, 2003).

Além da incorporação em substrato, o fungo *Trichoderma* é utilizado no tratamento de sementes e na irrigação via pivô central em grandes culturas na região central do País (MORANDI et al., 2005; POMELLA, 2008). As doenças causadas por *S. sclerotiorum*, *S. rolfsii*, *R. solani*, *F. oxysporum* e *F. solani* causam grandes perdas nos cultivos irrigados de feijão, soja, algodão e milho e podem, muitas vezes, inviabilizar totalmente as áreas irrigadas por pivô. Na maioria desses casos, o controle com fungicidas tem eficiência baixa. Recomenda-se a aplicação de produtos à base de *Trichoderma* via tratamento de semente, no plantio e via água de irrigação nos pivôs. O custo do controle biológico

nessas condições é de, aproximadamente, um terço do custo com fungicidas. O antagonista associa-se às estruturas dos patógenos (escleródios, esporos, hifas etc.), causando sua degradação ou impedindo-os de germinar (Fig. 1).

Espécies de *Trichoderma* prevalecem especialmente em ambientes úmidos e podem ser isoladas de todas as zonas climáticas, incluindo solos de desertos (KLEIN; EVERLEIGH 1998). O desenvolvimento das espécies de *Trichoderma* mais utilizadas como agentes de controle biológico é favorecido por temperaturas acima de 25°C. Assim, a introdução desses agentes em áreas e/ou épocas de temperaturas amenas pode ser pouco eficiente no controle de patógenos no solo (PAULA JÚNIOR et al., 2009). Além da temperatura, a falta de cobertura vegetal e de resíduos orgânicos pode causar maior exposição do solo e do inóculo inicial de *Trichoderma* aos



Figura 1 - Apotécios de *Sclerotinia sclerotiorum* parasitados com *Trichoderma* spp.

raios solares. Desse modo, as aplicações com produtos à base de *Trichoderma* são mais eficientes, quando feitas em solo contendo MO ou palhada. A aplicação de *Trichoderma* associada ao PD apresenta resultados consistentes no controle do mofo-branco, especialmente em regiões onde as temperaturas no outono-inverno são elevadas.

CONTROLE BIOLÓGICO DE PATÓGENOS FÚNGICOS DA PARTE AÉREA

Com a compreensão da natureza física, química e microbiológica da superfície foliar, tornou-se largamente reconhecido que grandes populações de microrganismos epifíticos vivem na superfície foliar e são capazes de influenciar o processo de infecção de folhas e caules por espécies patogênicas.

Antes de penetrar no tecido foliar, os patógenos ficam expostos a interações com os microrganismos residentes e transeuntes da superfície foliar. Microrganismos residentes são os que habitam continuamente a superfície foliar e se adaptam a essas condições. Já os transeuntes ou exógenos são os que normalmente possuem outro *habitat* (solo, sementes, restos culturais etc.), mas podem passar uma fase de seu ciclo na superfície foliar. Os microrganismos exógenos possuem, em geral, baixo estabelecimento no filoplano (BLAKEMAN, 1985). O ambiente da superfície foliar difere sensivelmente do ambiente do solo, caracterizando-se pela ocorrência de variações maiores e mais rápidas, especialmente de temperatura e umidade. Na superfície foliar, os microrganismos estão expostos à ação de chuvas e radiação solar. Outra diferença marcante é a disponibilidade de nutrientes (exsudatos foliares, resíduos orgânicos, grãos de pólen, secreções de afídios, macro e microelementos, diversas substâncias orgânicas etc.). Como consequências das mudanças no ambiente e na disponibilidade de nutrientes, alterações sensíveis ocorrem nas populações microbianas patogênicas e

epifíticas da superfície foliar, fenômeno denominado sucessão microbiana no filoplano (BLAKEMAN, 1985).

Os microrganismos do filoplano mais comumente encontrados são bactérias, leveduras e fungos filamentosos. No início do desenvolvimento da planta, as bactérias são os organismos colonizadores mais frequentes (colonizadores primários). Com o desenvolvimento do hospedeiro, aumenta a quantidade de açúcares nas folhas e, assim, inicia-se o próximo estágio da sucessão microbiana, marcado pelo aumento da população de leveduras. Uma característica marcante das leveduras é sua capacidade de manter o crescimento mesmo em condições de temperaturas altas e umidade relativa do ar baixa. Os esporos dos fungos filamentosos, mesmo depositados na superfície foliar, permanecem dormentes. Entretanto, quando as folhas atingem o estágio de senescência, a dormência pode ser vencida, ocorrendo inclusive a colonização dos tecidos internos da planta. Assim, na senescência, cresce a população de fungos filamentosos, que também passam a nutrir bactérias e leveduras. A sucessão apresentada considera a população dominante nos diferentes estádios, pois, de modo geral, os diversos microrganismos estão presentes simultaneamente, o que é relevante para o controle biológico natural.

O equilíbrio da população microbiana do filoplano pode ser facilmente quebrado pela influência humana. A modificação da superfície foliar e de seu microambiente pode ocorrer por causa da poluição ou da aplicação de produtos químicos (fungicidas, inseticidas, herbicidas, hormônios, acaricidas e fertilizantes). Essas alterações podem interferir na ocorrência de doenças, pois haverá uma redução da população microbiana saprofítica, surgindo a oportunidade de desenvolvimento de um patógeno que tinha, inicialmente, importância secundária.

Os patógenos constituem uma pequena fração dos habitantes das proximidades e das superfícies dos órgãos das plantas. Frequentemente, a severidade da doença

aumenta, quando o patógeno é reintroduzido em sítios de infecção pré-esterilizados, indicando que os habitantes das superfícies dos órgãos das plantas servem como tampão biológico (COOK; BAKER 1983). A ocorrência natural do controle biológico é comprovada pelas mudanças causadas pelo emprego continuado de fungicidas.

A população de microrganismos antagonísticos do filoplano consiste, basicamente, de bactérias e fungos (filamentosos e leveduriformes). Nesse ambiente, competição, antibiose, parasitismo e indução de resistência são intensos, resultando em controle natural de doenças foliares.

De forma geral, as interações entre antagonistas e patógenos no filoplano são estabelecidas em função das características dos patógenos e dos mecanismos de biocontrole de cada antagonista. Com base nessas características, é possível estabelecer três grandes grupos de fungos patogênicos e os mecanismos prioritários de ação dos agentes de controle biológico (Quadro 1). É possível que o parasitismo seja o mecanismo mais eficiente no controle biológico natural, pois hiperparasitas, por viverem à custa do próprio patógeno, são menos sujeitos às variações do ambiente.

A estratégia usual de controle biológico de um patógeno do filoplano é por meio da introdução de antagonistas. Para ser bem-sucedido, o antagonista deve, preferencialmente, multiplicar-se e colonizar a superfície da planta. Para cada patossistema existe um local mais apropriado para realizar a seleção de antagonistas. No entanto, as chances de obtenção de microrganismos efetivamente antagonísticos são aumentadas fazendo-se isolamentos no próprio ambiente onde os antagonistas serão utilizados. Assim, os microrganismos residentes no filoplano possivelmente serão os mais adequados para atuar nesse ambiente. A utilização de microrganismos com capacidade antagonística reconhecida e não residentes no filoplano também é praticada no controle biológico de doenças da parte aérea, com a vantagem de abreviar o período de seleção de antagonistas nas fases iniciais do trabalho.

QUADRO 1 - Interações entre fungos patogênicos e antagonistas no filoplano

Patógeno	Características básicas	Principais mecanismos de controle	Grupo de antagonistas potencial	Habitat
Necrotrófico não especializado (ex.: <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Cladosporium</i> spp., <i>Septoria</i> spp.)	Crescimento saprofítico antes da penetração; necessitam de fonte externa de nutrientes para germinação	Competição por espaço e nutrientes	Bactérias Leveduras Fungos filamentosos	Filoplano ou exógeno Filoplano Filoplano ou exógeno
Necrotrófico especializado (ex.: <i>Colletotrichum</i> spp.)	Crescimento saprofítico pequeno ou ausente antes da penetração; pequena dependência de nutrientes exógenos; formam apressório e penetram rapidamente na ausência de nutrientes exógenos	Antibiose	Bactérias Fungos filamentosos	Filoplano ou exógeno Filoplano ou exógeno
Biotróficos (ex.: ferrugens)	Não possuem crescimento saprofítico; crescimento do tubo germinativo sustentado por reservas internas do esporo	Parasitismo e antibiose	Bactérias Fungos filamentosos	Filoplano ou exógeno Filoplano ou exógeno

FONTE: Dados básicos: Blakeman (1985).

O sucesso do controle biológico de doenças da parte aérea depende do modelo biológico escolhido. Para as culturas perenes, a utilização de antagonistas que atuam por meio de hiperparasitismo conduz a resultados mais promissores, pois o estabelecimento dos antagonistas é facilitado. Para as culturas anuais, os antagonistas que atuam por antibiose e competição têm maiores chances de sucesso, sendo mais indicados para doenças que ocorrem em períodos definidos e, preferencialmente, de forma isolada.

A bactéria *Bacillus subtilis* é um dos antagonistas mais estudados para o controle de patógenos fúngicos na parte aérea de plantas, especialmente no controle de doenças do filoplano e em pós-colheita. Essa bactéria é efetiva na prevenção e no controle de doenças causadas por várias espécies de patógenos. Inibe a germinação de esporos, o crescimento do tubo germinativo e micelial dos patógenos, bloqueando o ataque do patógeno à superfície foliar pela formação de uma zona de inibição, e também por indução de resistência no hospedeiro. Há produtos no mercado internacional com registro de utilização em plantios de uva, maçã, pera, amendoim, cucurbitáceas, hortaliças folhosas, cruci-

feras, pimentão, tomate, cebola, cenoura, herbáceas, ornamentais, etc. (WELLER, 1988; EDGEComb; MANKER 2008). Produtos formulados a partir de *B. subtilis* são utilizados, desde 1983, nos Estados Unidos, para o tratamento de sementes de amendoim e aplicações nas folhas e no solo (WELLER, 1988; EDGEComb; MANKER 2008).

Morandi et al. (2005) descrevem o uso de outros antagonistas para o controle de patógenos do filoplano no Brasil, como *Dycima pulvinata*, para o controle do mal-das-folhas da seringueira, *Acremonium*, para o controle da lixa-do-coqueiro, *T. stromaticum* associado ao manejo cultural, para o controle da vassoura-de-bruxa do cacauzeiro, e *Clonostachys rosea*, para o controle do mofo-cinza em morango e ornamentais.

INTEGRAÇÃO DE MÉTODOS DE MANEJO PARA O CONTROLE DE FITOPATÓGENOS E PRAGAS

A integração de métodos para o manejo de mais de um patógeno ou praga ao mesmo tempo aumenta as chances de sucesso de controle e contribui para a redução de custos. A integração de métodos fitossani-

tários é a principal forma de reduzir o uso de agrotóxicos em sistemas de produção, como tem-se buscado no manejo integrado de pragas e na produção integrada de várias culturas (DE WIT et al., 2009; MORANDI, 2009). Entretanto, seu sucesso só é possível com o conhecimento das possíveis interações entre plantas, fitófagos e patógenos e seus efeitos sobre a eficiência dos métodos considerados (PAULA JÚNIOR et al., 2007).

Uma experiência bem-sucedida foi implantada em propriedade localizada em Holambra, SP, especializada no cultivo de lírio, cultura de alto valor agregado, e com histórico de utilização intensiva de fungicidas, inseticidas e acaricidas (DE WIT et al., 2009). Os problemas fitossanitários no lírio, incluindo doenças causadas por *Botrytis elliptica*, *Phytophthora*, *Fusarium*, *Sclerotinia*, *Penicillium*, *Rhizoctonia* e *Pythium*, e pragas como pulgões, *Fungus gnatus*, bicho-mineiro, tripes e lagartas são limitantes para o seu cultivo. Nessa propriedade, chegou-se a usar brometo de metila para manter o sistema produtivo em funcionamento, em função do desequilíbrio gerado ao longo do tempo. A partir desse ponto, foi tomada a decisão de alterar o sistema de cultivo. O uso de

agrotóxicos foi paulatinamente substituído pela integração de métodos biocompatíveis para o controle de pragas e doenças, com introdução de vários microrganismos. A primeira medida foi deixar de utilizar agrotóxicos de faixa vermelha, fase que demorou aproximadamente um ano. Mais um ano foi utilizado para substituir os de faixa amarela. Finalmente, depois do terceiro ano, deixou-se de utilizar agrotóxicos na propriedade. Paralelamente à substituição dos agrotóxicos, foi alterada a fertilização da cultura para permitir a sobrevivência dos agentes de biocontrole que passaram a fazer parte do sistema. Atualmente, a produção de lírios na propriedade baseia-se na desinfestação do substrato com vapor, seguido de sua recolonização com *Trichoderma*, *Metarhizium*, *Beauveria* e microrganismos presentes em biofertilizante produzido aerobicamente, visando à eliminação do vácuo biológico promovido pela desinfestação. Além disso, são realizadas pulverizações com *Trichoderma*, *Clonostachys*, *Metarhizium*, *Beauveria* e *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*. Quando necessário, são utilizados produtos como óleo de nim, própolis, fosfito e piro-alho. Associado a esses produtos e a uma fertilização equilibrada e controlada diariamente, um programa de sanitização, com a eliminação de plantas e partes

de plantas doentes, é mantido em todas as estufas. Adicionalmente, são usadas armadilhas para o monitoramento e o manejo de pragas, além do controle da umidade relativa do ar dentro das casas de vegetação. Todas as caixarias, vasos e demais utensílios utilizados em cada ciclo produtivo, que varia de 30 a 90 dias, dependendo das variedades cultivadas, são desinfestados com substância à base de pinho. O sucesso dessa experiência não se deve apenas à substituição dos agrotóxicos por algum produto biocompatível, mas pela alteração de todo o sistema de produção, já que a simples substituição de produtos pode levar aos mesmos desequilíbrios causados pelos agrotóxicos.

Um sistema semelhante foi adotado para a cultura de *Spathiphyllum* (espatifilo, bandeira-branca ou lírio-da-paz) (DE WIT et al., 2009). A principal doença da cultura é a podridão de raiz e colo, causada por *Cylindrocladium spathiphylli*, além dos sintomas causados por *Pythium*, *Phytophthora* e *Fungus gnatus*. Os fungicidas disponíveis no mercado não são registrados para a cultura e não apresentam a eficiência desejada, por causa dos problemas com a resistência do patógeno. O ciclo da cultura é de 18 meses, o que prolonga a exposição aos problemas fitossanitários. A estratégia de substituição dos agrotóxi-

cos por técnicas alternativas de controle iniciou-se nas estufas de produção, onde foi estabelecido um programa de adoção de técnicas que não causassem estresses às plantas. A estratégia básica adotada foi o tratamento adequado do substrato. Além disso, foi montada uma estrutura na casa de vegetação que permitiu a elevação dos vasos em torno de 30 cm, com a finalidade de evitar a contaminação via solo. As plantas passaram a ser pulverizadas de forma preventiva com agentes de biocontrole (*Trichoderma* spp., *Metarhizium anisopliae*, *C. rosea*, *Beauveria* sp., *B. thuringiensis* var. *israelensis* e *B. subtilis*) e extrato de peixe. Ao final, a sanitização e o uso de armadilhas foram incorporados à rotina das casas de vegetação.

A integração de métodos físicos e biológicos também foi eficiente no controle de patógenos em viveiro de *Cordia verbenacea* (erva-baleeira) (MORANDI, 2009). A erva-baleeira é uma planta medicinal, cujo óleo essencial é usado comercialmente na fabricação de pomadas e spray com propriedades anti-inflamatórias. A propagação de mudas é feita em viveiros. Um dos problemas fitossanitários detectados em viveiros tem sido o ataque de *Phoma* sp. O manejo integrado (Fig. 2) proposto para o controle da doença permitiu a redução drástica das perdas e incluiu:

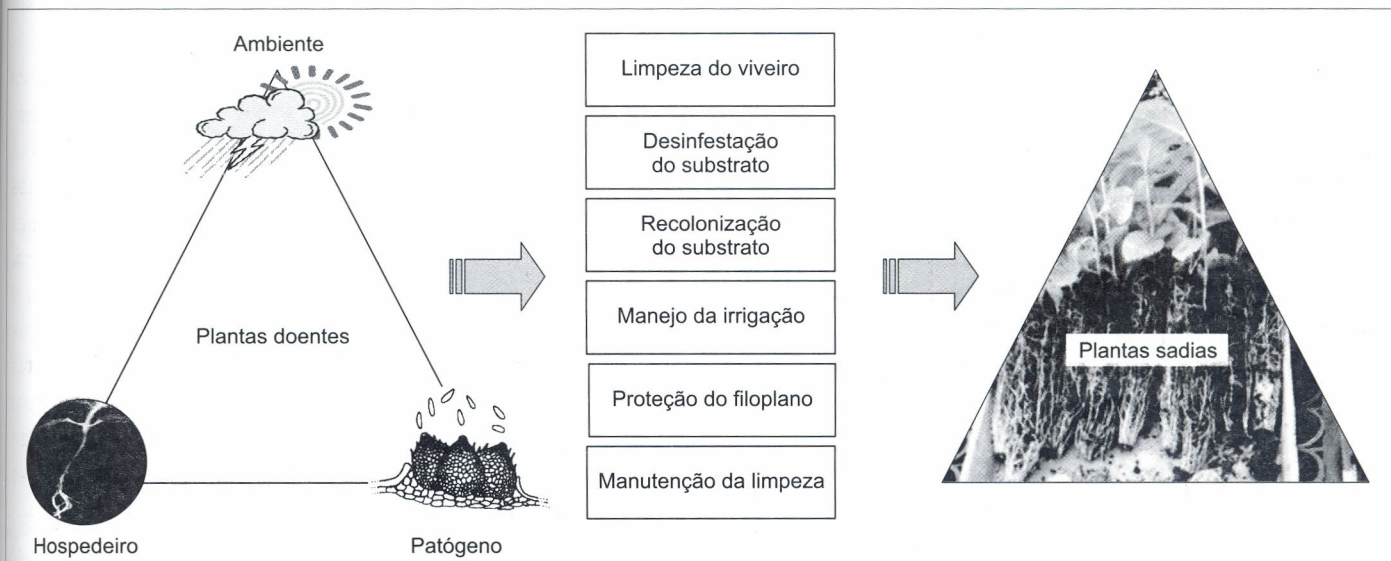


Figura 2 - Esquema de manejo integrado de *Phoma* sp. em viveiro de erva-baleeira

FONTE: Dados básicos: Morandi (2009).

- a) limpeza e desinfestação das instalações do viveiro;
- b) desinfestação prévia do substrato em coletor solar (GHINI; BETTIOL, 1991);
- c) recolonização do substrato com aplicação de biofertilizante à base de esterco bovino, visando ao incremento da diversidade e atividade microbianas no substrato (BETTIOL, 2006);
- d) manejo da irrigação, com a redução da frequência, para reduzir o período de molhamento foliar e limitar a ocorrência de ambiente favorável à infecção;
- e) proteção do filoplano, por meio da pulverização quinzenal de biofertilizante a 10%, visando à formação de uma “barreira biológica” sobre as mudas;
- f) manutenção da limpeza, com eliminação frequente de plantas e partes de plantas doentes, visando à redução da disseminação do inóculo secundário do patógeno no interior do viveiro.

No sistema agrícola convencional, o manejo de populações de pragas e de patógenos é tratado de forma isolada. Não é levado em consideração o efeito das interações entre organismos infestantes e infectantes quanto à dinâmica de suas populações. Por outro lado, em sistemas onde o uso de pesticidas é restrito, a diversidade e a abundância de espécies de fitófagos e de patógenos são maiores e as interações entre esses grupos de organismos podem afetar a dinâmica de suas populações (PAULA JÚNIOR et al., 2007).

A cultura do morangueiro é atacada por diversos fitófagos, sendo os ácaros os mais importantes, com destaque para o ácaro-rajado *Tetranychus urticae*. A principal forma de controle desse ácaro em plantios comerciais de morangueiro é por meio da aplicação sistemática de acaricidas. Contudo, essa estratégia apresenta uma série de desvantagens, como a não-especificidade, a contaminação do ambiente e a possibilidade de surgimento de subpopulações

de pragas resistentes. Além das pragas, os morangueiros são infectados por grande diversidade de espécies de patógenos, com destaque para *Botrytis cinerea*, causador do mofo-cinza. Esse patógeno também causa perdas em ornamentais, hortícolas e frutíferas, sobretudo em cultivo protegido. Pode atacar as culturas em vários estágios de desenvolvimento e no armazenamento, o que dificulta o seu controle. A esporulação abundante nos restos culturais, principal fonte de inóculo, contribui para a manutenção de epidemias. Assim, preconiza-se a supressão da esporulação como estratégia de manejo (MORANDI et al., 2003). Os fungicidas, em geral, não são eficientes em suprimir a esporulação de *B. cinerea*, uma vez que interferem principalmente no processo de infecção e não são efetivos contra o patógeno nos restos culturais. Morandi et al. (2000) relataram que a infestação do ácaro-rajado em folhas de roseira aumentou a germinação, o crescimento e a esporulação de *B. cinerea*, demonstrando a importância do manejo integrado desses problemas.

O manejo biológico integrado do ácaro-rajado e do mofo-cinza é realizado com sucesso, desde 2005, no cultivo orgânico do morango em Serra Negra, SP, com a aplicação do agente de biocontrole

C. rosea em conjunto com a liberação de ácaros predadores *Phytoseiulus macropilis* e *Neoseiulus californicus* (MORANDI; BETTIOL 2008).

O fungo *C. rosea* é encontrado em diferentes habitats, em regiões tropicais e temperadas, comumente associado a escleródios no solo e a tecidos vegetais senescentes. Além disso, coloniza endofiticamente raízes, hastes, folhas e frutos de diferentes plantas (SUTTON et al., 1997). É eficiente no controle de *B. cinerea* em plantas de famílias distintas, como gerânio, begônia, ciclâmen, *Exacum*, roseiras e outras ornamentais, tomate, pimentão, pepino, framboesa, morango e mudas de eucalipto e de coníferas. Em morango, o antagonista é pulverizado semanalmente a partir do transplântio das mudas, enquanto os ácaros predadores são liberados nas reboleiras, assim que os primeiros ácaros-rajados são observados na cultura. Além da aplicação dos agentes de controle biológico, a limpeza da cultura (sanitização) deve ser feita pela eliminação contínua de folhas e frutos doentes. Essa prática é de fundamental importância para a eficiência do manejo. No campo, a interrupção da limpeza proporcionou aumento da incidência da doença mesmo com a aplicação do agente de biocontrole (Gráfico 1).

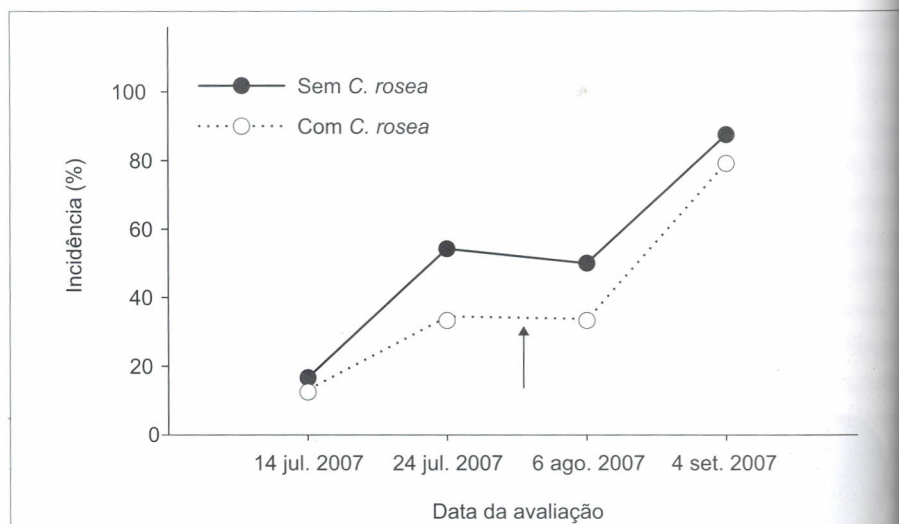


Gráfico 1 - Incidência de *Botrytis cinerea* em morangueiro cultivado em sistema orgânico com a aplicação do agente de biocontrole *Clonostachys rosea* e realização de práticas de sanitização

NOTA: A seta indica a interrupção da remoção de restos culturais e frutos doentes.

A introdução de agentes de biocontrole no sistema produtivo é segura do ponto de vista ambiental e de riscos à saúde humana. No caso de *C. rosea*, há produtos registrados nos Estados Unidos e Canadá para o controle de *B. cinerea*. No Brasil, o fungo é comercializado, porém não há registro no Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Os ácaros predadores também são comercializados no País e há processos de registro pendentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de todas as vantagens relatadas, o uso de agentes de controle biológico apresenta diversas dificuldades, especialmente relacionadas com a qualidade dos produtos biológicos, registro no MAPA, ausência de fornecedores qualificados, controle de qualidade e, principalmente, com o pequeno número de agricultores com sistemas integrados para troca de informações e experiências.

A introdução de um agente de controle biológico exige o seu estabelecimento, seguido de interações com o organismo-alvo e outros organismos. Essas interações complexas são fundamentais para o sucesso do controle, devem ser analisadas de modo holístico e consideradas em longo prazo. Há necessidade de amplo conhecimento da ecologia de sistemas para o sucesso do controle biológico. Desse modo, a simples substituição dos agrotóxicos não é suficiente para garantir uma agricultura mais limpa. É necessário redesenhar os sistemas de produção para atingir a sua sustentabilidade.

O mercado brasileiro de agentes de controle biológico de doenças de plantas tem crescido e diversificado significativamente nos últimos anos. A adoção do controle biológico e de outros métodos alternativos para o controle dos problemas fitossanitários vem recebendo colaboração marcante de um movimento crescente que é a agricultura orgânica e suas variantes

(agricultura biodinâmica, natural, alternativa, sustentável e ambiental). Esses novos modelos de agricultura colaboram para a racionalização do uso de agrotóxicos e atendem às exigências da produção de alimentos saudáveis e com qualidade ambiental.

A integração de métodos biocompatíveis para o controle dos problemas fitossanitários ainda é mais importante no contexto de mudanças climáticas globais. Assim, é imprescindível que esforços sejam feitos para minimizar a emissão de carbono para a atmosfera. Possivelmente, diversos desses métodos poderão colaborar nesse sentido.

AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Manejo biológico de fungos e doenças de solo

AGROTRICH® PLUS é um composto biológico a base de *Trichoderma* spp. altamente concentrado indicado para o manejo de diversas doenças causadas por fungos presentes no solo, proporcionando às plantas um desenvolvimento mais sadio e vigoroso durante todo o seu ciclo.

Testemunha (foto 1): 840 sc/ha com 90% batata especial.
Tratada (foto 2): 900 sc/ha com 95% batata especial.



composto biológico
Agrotrich® Plus



"Insumo inspecionado pela ECO CERT BRASIL, de acordo com normas brasileiras e internacionais. Adequado para uso na agricultura orgânica. Utilização condicionada aos critérios de cada regulamento orgânico".

"Produto em conformidade com a Instrução Normativa 64/2008 – anexo VIII"


AGRI HAUS DO BRASIL
INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS BIOPREPARADOS LTDA.

REFERÊNCIAS

- BETTIOL, W. Controle de doenças de plantas com agentes de controle biológico e outras tecnologias. In: CAMPANHOLA, C.; BETTIOL, W. (Ed.). **Métodos alternativos de controle fitossanitário**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. p.191-216.
- _____. Productos alternativos para el manejo de enfermedades em cultivos comerciales. **Fitosanidad**, Havana, v.10, n.2, p.85-98, jun. 2006.
- _____; GHINI, R. Solos supressivos. In: MICHEREFF, S.F.; ANDRADE, D.E.G.T.; MENEZES, M. (Ed.). **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife: UFPE, 2005. p.125-152.
- _____; MORANDI, M.A.B. *Trichoderma* in Brazil: history, research, commercialization and perspectives. **IOBC/WPRS Bulletin**, v.43, p.235-237, 2009.
- _____; _____. PINTO, Z.V.; PAULA JÚNIOR, T.J. de; CORREA, E.B.; MOURA, A.B.; LUCON, C.M.M.; COSTA, J.C.; BEZERRA, J.L. Bioprotetores comerciais para doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v.17, p.111-147, 2009.
- BLAKEMAN, J.P. Ecological succession of leaf surface microorganisms in relation to biological control. In: WINDELS, C.E.; LINDOW, S.E. **Biological control on the phylloplane**. St. Paul: The American Phytopathological Society, 1985. p.6-30.
- COOK, R.J.; BAKER, K.F. **The nature and practice of biological control of plant pathogens**. 2.ed. St. Paul: The American Phytopathological Society, 1983. 539p.
- DE WIT, J.P.W.; KIEVITSBOSH, R.A.; BETTIOL, W. Integração de métodos físicos e biológicos para o controle de doenças e pragas em lírio e espatifilo. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M.A.B. (Ed.). **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p.331-336.
- EDGECOMB, D.W.; MANKDER, D.C. Serenade (*Bacillus subtilis* strain QST 713) and Sonata (*Bacillus pumilus* QST 2808), new biological tools for integrated and organic disease control programs. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v.34, p.196-199, fev. 2008. Suplemento.
- GHINI, R.; BETTIOL, W. Coletor solar para desinfestação de substratos. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v.17, n.3/4, p.281-286, jul./dez. 1991.
- _____; PATRÍCIO, F.R.A.; BETTIOL, W.; ALMEIDA, I.M.G.; MAIA, A.H.N. Effect of sewage sludge on suppressiveness soil-borne plant pathogens. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v.39, p.797-805, 2007.
- KLEIN, D.; EVERLEIGH, D.E. Ecology of *Trichoderma*. In: KUBICEK, C.P.; HARMAN, G.E. (Ed.). **Trichoderma & Gliocladium: enzymes, biological control and commercial applications**. London: Taylor & Francis, 1998. v.1, p.57-74.
- MORANDI, M.A.B. Integração de métodos físicos e biológicos no controle de doenças em viveiros de plantas medicinais: estudo de caso com *Cordia verbenacea*. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M.A.B. (Ed.). **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p.337-341.
- _____; BETTIOL, W. Integração de métodos biocompatíveis no manejo de doenças e pragas: experiências em plantas ornamentais e medicinais. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v.33, p.31-34, 2008. Suplemento.
- _____; _____. GHINI, R. Situação do controle biológico de doenças de plantas no Brasil. In: VENZON, M.; PAULA JÚNIOR, T.J. de; PALLINI, A. (Coord.). **Controle alternativo de pragas e doenças**. Viçosa, MG: EPAMIG-CTZM, 2005. p.247-268.
- MORANDI, M.A.B.; MAFFIA, L.A.; MIZUBUTI, E.S.G.; ALFENAS, A.C.; BARBOSA, J.G. Suppression of *Botrytis cinerea* sporulation by *Clonostachys rosea* on rose debris: a valuable component in Botrytis blight management in commercial greenhouses. **Biological Control**, Amsterdam, v.26, n.3, p.311-317, Mar. 2003.
- _____; SUTTON, J.C.; MAFFIA, L.A. Relationships of aphid and mite infestations to control of *Botrytis cinerea* by *Clonostachys rosea* in rose (*Rosa hybrida*) leaves. **Phytoparasitica**, v.28, n.1, p.55-64, Mar. 2000.
- NASSER, L.C.B.; CAFÉ FILHO, A.C.; AZEVEDO, J.A.; GOMES, A.C.; ALBRETCH, J.C.; FREITAS, M.A.; KARL, A.C.; FERRAZ, L.L.C.; MEDEIROS, R.G.; ARANCIBIA, R.C.; NAPOLEÃO, R.L.; JUNQUEIRA, N.T.V. Manejo do cancro da haste da soja e mofo branco do feijoeiro em sistemas de produção do cerrado. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.24, p.220-222, ago. 1999. Suplemento. Resumos do XXXII Congresso Brasileiro de Fitopatologia.
- _____; KARL, A.C. Mofo branco do feijoeiro irrigado e o plantio direto nos cerrados. **Direto no Cerrado**, Uberlândia, v.3, n.8, p.11-12, 1998.
- PAULA JÚNIOR, T.J. de; TEIXEIRA, H.; FADINI, M.A.M.; VENZON, M.; JESUS JÚNIOR, W.C.; MORANDI, M.A.B.; PALLINI, A. Interações entre fitófagos e patógenos de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v.15, p.353-402, 2007.
- _____; VIEIRA, R.F.; ROCHA, P.R.R.; BERNARDES, A.; COSTA, E.L.; CARNEIRO, J.E.S.; VALE, F.X.R. do; ZAMBOLIM, L. White mold intensity on common bean in response to plant density, irrigation frequency, grass mulching, *Trichoderma* spp., and fungicide. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v.35, n.1, p.44-48, Jan./Feb. 2009.
- POMELLA, A.W.V. A utilização do controle biológico para grandes culturas: a experiência do grupo Sementes Farroupilha. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v.34, p.195-196, fev. 2008. Suplemento.
- SUTTON, J.C.; DE-WEI, L.; GANG, P.; HAI, Y.; PINGGAO, Z.; VALDEBENITO-SANHUEZA, R.M. *Gliocladium roseum*: a versatile adversary of *Botrytis cinerea* in crops. **Plant Disease**, St. Paul, v.81, n.4, p.316-328, Apr. 1997.
- WELLER, D.M. Biological control of soil-borne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.26, p.379-407, 1988.
- ZAMBOLIM, L.; CASA, R.T.; REIS, E.M. Manejo integrado de doenças em plantio direto. **Informe Agropecuário**. Plantio Direto, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.73-83, jan./fev. 2001.