

Controle de Plantas Daninhas

Métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia

Maurílio Fernandes de Oliveira
e Alexandre Magno Brighenti



Embrapa

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

Controle de Plantas Daninhas

*Métodos físico, mecânico, cultural,
biológico e alelopatia*

*Maurílio Fernandes de Oliveira
Alexandre Magno Brighenti
Editores Técnicos*

Embrapa
Brasília, DF
2018

Controle biológico de plantas daninhas com fungos fitopatogênicos

Bruno Sérgio Vieira, Robert Weingart Barreto, Kátia de Lima Nechet

Plantas daninhas na agricultura

O conceito negativo de muitas plantas, tidas como daninhas ou invasoras, é consequência unicamente de desequilíbrios ambientais provocados pelas atividades humanas em práticas agrícolas, no manejo de recursos hídricos ou ainda pela introdução de espécies exóticas em regiões onde antes não existiam.

As plantas daninhas representam um dos principais fatores limitantes para a produtividade agrícola no mundo. Seu efeito deletério sobre as culturas é múltiplo, envolvendo a competição por água, luz, ou nutrientes minerais do solo; a interferência na colheita; a contaminação do produto colhido com sementes e outras partes vegetais; o aumento do teor de umidade do produto colhido, prejudicando seu beneficiamento e reduzindo o seu valor. Além disso, as plantas daninhas podem servir de hospedeiro alternativo para pragas e doenças das plantas cultivadas (Auld, 1998).

As perdas globais anuais causadas por plantas daninhas são estimadas em bilhões de dólares e sua importância varia conforme a cultura e a região geográfica (Steven et al., 1997). Em termos médios ocorre uma redução de 30 a 40% da produção agrícola em países de clima tropical em função da ocorrência de plantas daninhas (Lorenzi, 2000). Lorenzi (1982) atribuiu às plantas daninhas uma redução em torno de 20 a 30% da produção agrícola no Brasil. Há uma grande diversidade de métodos que podem ser utilizados para o controle dessas plantas com predominância para os métodos mecânicos, químicos e culturais, mas havendo exemplos importantes de uso do controle biológico. Pode ser utilizada, também, uma combinação de dois ou mais métodos de controle, conforme as necessidades e condições existentes (Adkins, 1997).

Em relação aos custos de produção, o controle das plantas daninhas representa um dos itens que mais onera a produção, variando de 15% até 40% do valor total utilizado com insumos.

No ano de 2009, o Brasil tornou-se o maior mercado mundial para agrotóxicos, superando pela primeira vez os Estados Unidos (Andef, 2009). Os

herbicidas representavam o maior valor comercializado, alcançando mais de 40% do total do mercado (Zylbersztajn et al., 2009). No entanto esse mercado é dinâmico e a importância relativa dos grupos de produtos flutua. Em 2012, o mercado brasileiro de herbicidas foi de cerca de 3 bilhões de dólares, correspondendo à segunda classe de agrotóxicos mais amplamente comercializado no país (Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola, 2013). Embora consolidado como o método preferido para o manejo de plantas daninhas na agricultura empresarial no Brasil, por sua inegável eficiência e relação econômica de custo/benefício favorável, há problemas reconhecidos e crescentes na sua utilização. Dentre elas, o uso contínuo de herbicidas com um mesmo mecanismo de ação numa mesma área, durante anos consecutivos, tem favorecido o estabelecimento de biótipos de plantas daninhas resistentes, comprometendo os resultados obtidos com o manejo (Christoffoleti et al., 1994; Rizzardi et al., 2002).

Além disso, o crescimento do uso de herbicidas em todo o mundo tem um custo ambiental elevado, embora este impacto seja muitas vezes difícil de se detectar (National Research Council, 2010). A toxidez aguda de muitos dos herbicidas mais usados é considerada baixa. Este é, no entanto, apenas um dos aspectos a se considerar quando se avalia o risco de sua utilização. O reconhecimento do efeito de alguns herbicidas de ampla utilização sobre a reprodução de animais é um exemplo de prejuízos ambientais inesperados que emergem de sua utilização. Embora ainda não haja uma explicação adequada para o fato, descobriu-se que determinados herbicidas têm efeito mais nocivo para os animais em diluições maiores do que em concentrações elevadas (Samuel, 2002). A atenção de muitos pesquisadores tem se voltado para a busca por alternativas ao uso de herbicidas químicos que não ofereçam risco ao meio ambiente, sendo ao mesmo tempo técnica e economicamente viáveis.

Controle biológico de plantas daninhas com fungos fitopatogênicos: principais estratégias

Dentre as possibilidades que se apresentam como alternativas ao uso de herbicidas, destaca-se o controle biológico. Ele consiste na supressão ou estabilização de populações de espécies nocivas de plantas, animais ou microrganismos abaixo de níveis de dano econômico ou ambiental, utilizando-se inimigos naturais. Dentre os agentes de biocontrole de plantas daninhas destacam-se os fitopatógenos – particularmente os fungos.

Embora o reconhecimento de que os fitopatógenos (e em particular os fungos), importantes inimigos naturais de plantas daninhas, seja antigo, o seu uso em programas de controle biológico é relativamente recente, tendo se iniciado nos anos 70. Diversos autores publicaram revisões completas sobre este tema desde então (Hasan, 1974, 1980; Huffaker, 1976; Wapshere, 1982; Templeton, 1982, 1984; Te Beest, 1984; Evans, 1987; Adams, 1988; Ayres & Paul, 1990; Evans & Ellison, 1990; Charudattan, 1991; Watson, 1991; Te Beest et al., 1992; Evans 1997; Julien & White, 1997; Hallett, 2005; Ghosheh, 2005; Yandoc-ables et al., 2006a, 2006b; Barreto, 2009; Barreto et al., 2012).

Há duas abordagens principais para o uso de fitopatógenos como agentes de controle biológico de plantas daninhas: o método clássico, ou inoculativo, e o método de mico-herbicida, ou inundativo. A primeira envolve a introdução de um ou mais patógenos inimigos naturais de uma “planta-alvo” desde o seu centro de origem até a nova área de distribuição da planta, onde esta, tendo escapado de seus inimigos naturais, tornou-se uma invasora agressiva. Em geral, após a liberação do inimigo natural não há mais intervenções humanas. Em caso de sucesso, o fitopatógeno se estabelece, multiplica-se e se dissemina, levando a um declínio progressivo da população da planta-alvo até que o equilíbrio se restabeleça.

A segunda abordagem tipicamente envolve o uso de fungos fitopatogênicos endêmicos, já associados à planta-alvo onde ela causa prejuízos. Em condições normais o agente de controle biológico não produz impacto suficiente sobre a população de seu hospedeiro para resultar no controle da planta indesejável. No entanto, depois de ter seu inóculo produzido em massa, formulado e aplicado (de modo semelhante a um herbicida químico) sobre a população da planta daninha, o efeito pode ser equivalente ao da aplicação de um herbicida químico. Portanto, no método inundativo existe a necessidade de se fabricar um produto, o bio-herbicida, que o agricultor utilizará como outro insumo agrícola.

Controle biológico clássico de plantas daninhas com fungos fitopatogênicos

Usualmente, são incluídas as seguintes etapas na implementação de um programa de controle biológico clássico:

- a. escolha da planta-alvo (planta daninha que se pretende controlar);
- b. coleta de informações disponíveis sobre a planta-alvo e seus inimigos naturais;

- c. levantamento de inimigos naturais já presentes em regiões onde o problema ocorre;
- d. levantamento de agentes de controle biológico no centro de origem da planta-alvo;
- e. identificação dos potenciais agentes de controle biológico dentre os encontrados;
- f. esclarecimento de aspectos relevantes da biologia dos organismos selecionados, inclusive de seus ciclos de vida;
- g. avaliação do potencial dos organismos encontrados para uso como agentes de controle biológico;
- h. avaliação da especificidade;
- i. obtenção de autorização para importação do agente de biocontrole e sua introdução;
- j. importação do agente ou agentes;
- k. multiplicação em quarentena;
- l. introdução/liberação;
- m. avaliação de impacto pós-liberação.

Em todo o mundo, há registro de que 31 espécies de fungos fitopatogênicos já foram introduzidas em programas de controle biológico clássico de plantas daninhas (Barreto, 2009).

A iniciativa pioneira de uso de um fungo para o controle biológico clássico de uma planta daninha resultou em grande sucesso. Ela envolveu a introdução, a partir do Mediterrâneo, do fungo *Puccinia chondrillina* Bubak & Sydeman na Austrália para o controle da planta daninha *Chondrilla juncea* L. (Cullen et al., 1973; Cullen & Hasan, 1988; Mortensen, 1986). A redução obtida em pouco mais de um ano, na população desta planta em áreas infestadas, foi superior a 99%. A relação custo/benefício deste programa foi espetacular. O crescimento da produção agrícola nas áreas afetadas pela presença desta planta, somado à economia resultante da redução do consumo de herbicidas, resultou em um ganho anual de AU\$ 16 milhões. Este valor já totaliza AU\$ 352 milhões, e cresce anualmente, enquanto o custo total do programa foi de AU\$ 3 milhões. Passados 35 anos da introdução desse agente, estimou-se que a relação custo-benefício desse projeto se encontra entre 1:100 e 1:200 (Yandoc-ables et al., 2006a, 2006b).

Rubus constrictus Lefreve & Mueller e *Rubus ulmifolius* Schott são plantas daninhas da família Rosaceae de origem europeia, que se tornaram

importantes no Chile e outras partes do mundo. O fungo *Phragmidium violaceum* (Schultz) G. Winter, causador de ferrugem em *R. ulmifolius*, foi introduzido no Chile com resultados promissores, controlando as duas espécies daninhas (Hasan, 1980). Os resultados obtidos no Chile motivaram sua introdução com sucesso na Austrália para o controle de *Rubus fruticosus* agg. (Evans et al., 2004).

Outro exemplo de sucesso foi a introdução, a partir de Madagascar, do fungo causador de ferrugem *Marvalia cryptostegia* (Cummins) Y. Ono na Austrália para o controle da planta daninha *Cryptostegia grandiflora* R. Br. (Tomley & Evans, 2004). *Cryptostegia grandiflora* foi introduzida como ornamental em 1860 na Austrália e tornou-se uma invasora de ecossistemas naturais. Em 1990, estimava-se que 300.000 hectares de Queensland já estavam infestados. A área potencial de distribuição foi estimada como alcançando 60 milhões de hectares, ou seja, cerca de 20% da área da Austrália, sendo considerada a maior ameaça isolada aos ecossistemas tropicais do país (Mcfadyen & Harvey, 1990). Após 3 meses da introdução da ferrugem no norte de Queensland, já eram observadas plantas severamente atacadas pelo fungo, com plantas apresentando sintomas intensos da doença, com desfolha generalizada e fecundidade reduzida a zero. O sucesso obtido após a introdução do fungo foi verificado pela regeneração de pastagens e re-emergência da flora nativa em áreas infestadas com a espécie-alvo (Tomley & Evans, 2004).

Três fungos fitopatogênicos originários do Brasil já foram introduzidos em diferentes regiões do mundo para o biocontrole clássico. O primeiro foi o causador da antracnose, *Colletotrichum gloeosporoides* (Penz) Sacc. f.sp. *miconiae* Killgore & L. Sugiyama, introduzido no Havá (Killgore et al., 1997) e, posteriormente, com maior sucesso, no Taiti para o controle de *Miconia calvescens* DC. (Meyer et al., 2008). O segundo foi o causador de ferrugem *Proposodium tuberculatum* (Speg.) Arthur, introduzido na Austrália para o controle biológico de *Lantana camara* L. (Ellison et al., 2006). O terceiro foi *Kordyana* sp. nov., agente de doença semelhante ao “carvão-branco” (essa provocada por espécies do gênero *Entyloma*) em *Tradescantia fluminensis* Vell. Trata-se de um fungo que pertence a uma espécie nova para a ciência e em processo de descrição taxonômica (Macedo et al., 2016). Estudos recentes demonstraram que ele é muito específico e agressivo (Fowler et al., 2013), tendo grande potencial para o controle dessa invasora em florestas da Austrália e Nova Zelândia. No momento esse fungo está sob avaliação em

quarentena na Austrália e um pedido de autorização para a sua introdução está sendo formulado.

Infelizmente, a experiência em controle biológico de plantas daninhas pelo método clássico no Brasil se limita ainda à utilização de agentes de controle biológico coletados no país e introduzidos em outras regiões do mundo para mitigar os danos causados por descontrole populacional de plantas nativas do Brasil naquelas regiões (Ellison & Barreto, 2004). O Brasil nunca se beneficiou dessa estratégia, apesar dos numerosos exemplos de espécies de plantas exóticas invadindo ecossistemas brasileiros e causando impactos ambientais e econômicos significativos (Zenni & Ziller, 2011). Um esforço envolvendo instituições no nosso país e no exterior está ora em andamento com o objetivo de, aproveitando a experiência de sucesso do projeto de biocontrole de *C. grandiflora* na Austrália, inaugurar a disciplina no Brasil tendo como alvo uma espécie próxima e também originária de Madagascar: *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne. Esta espécie, como no caso da Austrália, foi distribuída pelo país como planta ornamental e, no Nordeste brasileiro escapou de jardins e passou a invadir áreas de caatinga, produzindo grave impacto ambiental e ameaçando a sobrevivência e a exploração econômica da carnaúba (Barreto, 2009). Há populações da mesma espécie fúngica causadora da ferrugem utilizada – com sucesso espetacular – para o biocontrole de *C. grandiflora*, específicas para *C. madagascariensis*.

Controle biológico de plantas daninhas com micro-herbicidas

Há exemplos de aplicação da estratégia de bio-herbicida envolvendo 12 espécies de fungos, uma bactéria e um vírus (Barreto, 2009). Porém, mais de 100 espécies de fitopatógenos já foram investigadas como potenciais bio-herbicidas (Yandoc-Ables et al., 2006a, 2006b).

No caso dos bio-herbicidas, alguns foram desenvolvidos, registrados e comercializados, a partir da década de 80, como: Collego® (atualmente com um novo nome LockDown™) - *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Sacc. f.sp. *aeschynomene*, para o controle de *Aeschynomene virginica* L.; Devine® - *Phytophthora palmivora* (Butler) Butler, para o controle de *Morrenia odorata* (Hook. e Arn.) Lindle; Biomal® (=Mallet WP) - *Colletotrichum gloeosporioides* f.sp. *malvae* (Penz.) Penz. & Sacc. in Penz., para *Malva pusila* Sm. (= *Malva rotundifolia* L.) (Figueiredo, 1995), CASST^T - *Alternaria cassiae* Jurair & Khan para o controle *Cassia obtusifolia* L. e Camperico™ - *Xanthomonas campestris* pv. *poae* Egli & Schmidt, para o controle de *Poa annua* L. (Imaizumi et al.,

1997). Uma inovação recente foi o desenvolvimento de um bio-herbicida a partir de um vírus, o *Tobacco mild green mosaic virus* (TMGV). Este vírus produz uma reação letal de hipersensibilidade quando aplicado sobre plantas de joá-bravo (*Solanum viarum* Dunal). Testes demonstraram que o vírus é um agente de biocontrole eficiente e específico, o que resultou em pedido de patente (Charudattan et al., 2004) e recente liberação para uso nos Estados Unidos pela EPA (abril 2015, Charudattan, comunicação pessoal).

O processo de descoberta e comercialização de herbicidas químicos inicia-se com milhares de substâncias, mas a taxa de sucesso é menor que 1%. Essa proporção é muito mais favorável para os agentes de biocontrole, quando se considera a relação entre o número de agentes que resultam em produtos que se tornam disponíveis para os usuários (5%) e o de sucessos alcançados para os patógenos que foram estudados para uso no controle biológico. A análise de custo-benefício é ainda mais favorável para os bio-herbicidas quando se considera o capital investido em pesquisa, desenvolvimento e registro do herbicida químico versus bio-herbicida. Estes custos alcançam cerca de 50 milhões de dólares para um herbicida químico e dois milhões para um bio-herbicida (Charudattan, 2001). Considerando-se ainda a ausência do registro de novas moléculas herbicidas ao longo das últimas décadas e as crescentes restrições impostas para registro e renovação de registro de herbicidas químicos e comprometimento de sua eficiência com a emergência de biótipos de plantas invasoras resistentes, o controle biológico de plantas daninhas por fitopatógenos se torna uma opção cada vez mais atraente.

Muitos fitopatógenos estão sendo testados para o desenvolvimento de mico-herbicidas em diversos países. No entanto, há certa frustração quando se consideram as expectativas geradas quando do lançamento dos produtos pioneiros Collego e Devine, há quase trinta anos. Problemas na escolha das plantas-alvo e derivados de uma elevada especificidade dos bio-herbicidas levaram ao registro e lançamento de produtos com um mercado muito restrito. Esses produtos pioneiros representam um triunfo tecnológico, mas um fracasso comercial. Além disso, outros problemas, relacionados às dificuldades técnicas na estabilidade da virulência dos agentes, produção massal, formulação e tecnologia de aplicação combinados com exigências insensatas impostas para o registro de tais produtos também frearam o avanço na área (Ash, 2010).

Dentre as alternativas lógicas sugeridas para a superação destes problemas está a escolha de plantas-alvo que representem isoladamente um

mercado robusto, como a buva (*Coryza* spp.), o leiteiro (*Euphorbia heterophylla* L.), o picão (*Bidens* spp.), o caruru (*Amaranthus* spp.) e a tiririca (*Cyperus rotundus* L.) (Barreto; Evans, 1995b), ou ainda plantas que tenham se tornado “intratáveis” com herbicidas por terem desenvolvido resistência a eles. Atualmente, sabe-se que existem 436 casos (espécie x mecanismos de ação) de resistência a herbicidas químicos no mundo, sendo 238 espécies (138 dicotiledôneas e 100 monocotiledôneas). São conhecidos relatos de plantas daninhas resistentes correspondentes a 22 dos 25 mecanismos de ação de produtos disponíveis no mercado, sendo 155 diferentes produtos comerciais. Cabe ressaltar ainda que casos de resistência a herbicidas químicos são relatados em 84 culturas economicamente importantes, em 65 países (Heap, 2014).

Existem ainda outros obstáculos que devem ser superados para se desenvolver bio-herbicidas, tais como: aumentar a eficiência dos produtos no campo por meio de formulações adequadas, conseqüentemente diminuindo o volume de calda e doses dos agentes de biocontrole necessários a um controle satisfatório da planta daninha alvo, reduzindo potencialmente o custo do bio-herbicida; diminuir a dependência de muitas horas de molhamento foliar necessárias à infecção e proteção dos propágulos fúngicos contra a radiação UV (ultravioleta) com a utilização de adjuvantes específicos adicionados às caldas (Auld & Morin, 1995); investir em tecnologia de aplicação de forma a otimizar o desempenho dos fungos sobre as plantas daninhas alvo; buscar a integração de produtos biológicos com herbicidas químicos ou outros sistemas de manejo visando aumentar o espectro de controle de diversas espécies daninhas no campo (Chandramohan et al., 2000).

A integração do controle biológico a sistemas de manejo de plantas daninhas foi discutida por Smith Jr. (1982), Charudattan (1985), Phatak et al. (1987), Charudattan e Deloach Jr. (1988), Watson e Wymore (1989), Hasan e Ayres (1990), Charudattan (1990), Morin et al. (1993), Charudattan (1993) e Figueiredo (1995), Chandramohan et al. (2000), Chandramohan et al. (2002). O emprego de fungos endêmicos como mico-herbicidas pode ser integrado com outros métodos de controle de plantas daninhas, em áreas agrícolas onde se desenvolve um complexo de espécies (Boyette et al., 1979; Smith Jr., 1982; Watson & Wymore, 1989).

Dois ou mais bio-herbicidas podem ser combinados como misturas em tanques ou usados sequencialmente para controle de várias espécies daninhas, superando o problema da especificidade excessiva de agentes de

biocontrole em relação ao hospedeiro. Alguns exemplos de estudos envolvendo essa abordagem são encontrados na literatura tais como a combinação de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Sacc. f.sp. *aeschynomene* e *C. gloeosporioides* f.sp. *jussiae*, para o controle de *A. virginica* e *Jussiae decurrens* (Walt) DC na cultura do arroz (Boyette et al., 1979) e *C. gloeosporioides* f.sp. *aeschynomene* e *C. malvarum* (Braun & Casp.) Southw. para o controle de *A. virginica* e *Sida spinosa* L., na cultura da soja (Smith Jr., 1982; Watson & Wymore, 1989). Nestes casos, demonstrou-se o sucesso de aplicações em combinação ou sequencialmente.

Também um forte efeito sinérgico foi observado quando *Puccinia xanthii* Schw. e *Colletotrichum orbiculare* Damm, P.F. Cannon & Crous foram aplicados sequencialmente para o controle de *Xanthium spinosum* L., resultando em severos sintomas que levaram as plantas à morte (Morin et al., 1993). Experimentos em campo foram conduzidos envolvendo a aplicação de 3 fungos fitopatogênicos em mistura, *Drechslera gigantea* (Heald & Wolf) Ito, *Exserohilum longirostratum* (Subram.) Sivan., e *E. rostratum* (Subram.) Sivan para o biocontrole de 7 espécies de plantas daninhas gramíneas na cultura do citros na Flórida, obtendo níveis de controle acima de 74% para todas as espécies testadas (Chandramohan et al., 2002). *Phomopsis amaranthicola* Roskopf, Charudattan, Shabana & Benny e *Microsphaeropsis amaranthi* (Ell. & Barthol.) Heiny & Mintz foram investigados quanto ao potencial de biocontrole de biótipos resistentes a herbicidas químicos pertencentes a diferentes espécies de *Amaranthus*, a saber: *Amaranthus rudis* Sauer, *A. palmeri* Wats, *A. powellii* Wats, *A. retroflexus* L., *A. spinosus* L., *A. hybridus* L., *A. albus* L., e *A. blitoides* Wats. Testes em casa de vegetação e em condições de campo revelaram taxas de mortalidade de plântulas acima de 80% para todas as espécies testadas a partir da aplicação de suspensões contendo a mistura de conídios dos dois fungos (Loretta & Williams, 2006).

A integração do uso de herbicidas químicos e fitopatógenos no controle de plantas daninhas pode resultar em efeito sinérgico ou antagônico e deve ser objeto de investigação durante o desenvolvimento de bio-herbicidas. Produtos químicos podem interferir com a infecção e o desenvolvimento da doença, alterando o sítio de infecção, fisiologia e sistema de defesa do hospedeiro, propágulos do patógeno, e aumentando a colonização do hospedeiro pelo patógeno, mas alguns podem apresentar incompatibilidade com agentes de controle biológico de plantas daninhas (Charudattan, 1993). Este autor acrescentou que mais fungicidas do que

inseticidas ou herbicidas apresentam problemas, quando em uso combinado com fungos, devendo as combinações serem analisadas caso a caso. O uso de fungicidas e inseticidas inibiu a ação de *C. gloeosporioides* f.sp. *aeschynomene*, verificando-se a necessidade de se ajustar a sequência de aplicação de defensivos, para evitar a interferência na ação do patógeno (Smith Jr., 1982; Watson & Wymore, 1989). Charudattan (1993) destacou a necessidade de entender as interações que ocorrem entre pesticidas químicos e agentes de biocontrole, para evitar falhas e melhorar a efetividade destes últimos.

Holmström-Ruddick e Mortensen (1995) avaliaram os efeitos da aplicação de *C. gloeosporioides* f.sp. *malvae* no controle de *M. pusila*, em combinação com benomil, utilizando uma estirpe resistente ao fungicida. Eles verificaram que a aplicação prévia ou simultânea do benomil causava decréscimo de infecção, enquanto em aplicações de benomil 24 horas após a inoculação com o patógeno, nenhum efeito era observado.

O controle do aguapé (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms foi avaliado, nos EUA, com a integração do fungo *Cercospora rodmanii* Conway, insetos e herbicidas (Charudattan, 1986). Os testes mostraram que o patógeno ou insetos, isoladamente, não controlavam completamente o aguapé, mas o uso combinado dos agentes promovia um controle mais eficaz. Os ferimentos causados pelos insetos facilitavam a infecção pelo fungo. O resultado obtido com combinações do patógeno e herbicidas em doses menores indicou como promissor o seu uso em condições de campo, particularmente a sequência patógeno-2,4 D, que causou danos de 49%, aos 49 dias após a aplicação do patógeno. Infelizmente, os estudos visando o controle biológico do aguapé com fungos nunca resultaram em um produto comercial, apesar de a planta ser amplamente reconhecida como a mais nociva dentre as plantas aquáticas invasoras e apesar de o fungo *C. rodmanii* ter sido oficialmente registrado como um "herbicida biológico" nos EUA.

Para que um produto biológico seja usado para o controle de plantas daninhas, ele deve ser fácil de produzir e armazenar, de baixo custo, confiável, resultar em altos níveis de controle, ter efeito previsível e ser seguro para o ambiente Templeton e Te Beest (1979). Sua comercialização fundamenta-se na periodicidade de aplicação, à semelhança dos herbicidas convencionais (Te Beest et al., 1992).

Jackson et al. (1996) apontam três métodos para a produção de bio-herbicidas: a) multiplicação sobre plantas hospedeiras *in vivo*, b) fermentação

em substrato sólido e c) fermentação líquida. A produção de propágulos de fungos biotróficos, tais como as ferrugens, pode ser feita apenas pelo primeiro método. Alguns dos fungos que não esporulam ou esporulam apenas de forma incipiente em meio líquido podem, por vezes, ser produzidos em substrato sólido. No entanto, a fermentação líquida é o método preferido, e foi o escolhido para a produção dos mico-herbicidas comerciais pioneiros Collego, Devine e Biomal. Estudos realizados com o fungo *Plectosporium alismatis* (Oudem.) W. Gams & U. Braun, um hifomiceto investigado como agente para o controle de invasoras da família Alismataceae, produzem abundantemente conídios sobre substratos sólidos (Jahromi et al., 2006; Cother; Van De Ven, 1999). Em outro estudo, Lanoiselet et al. (2001) descreveu a formação de cadeias de clamidósporos formados de forma intercalar em hifas de *P. alismatis* num meio de cultura sólido complexo. Em fase posterior dos estudos, Cliquet et al. (2004) demonstraram a viabilidade da produção de clamidósporos de *P. alismatis* num meio de cultura líquido (Czapex-Dox, suplementado com extrato de malte e nitrato de sódio). Clamidósporos são estruturas de resistência, que, caso produzidas massalmente, são considerados como ideais como ingrediente ativo em mico-herbicidas (Hebbar et al., 1998). Percebe-se que um mesmo fungo pode produzir diferentes tipos de inóculo através de diferentes tipos de metodologias. O desafio é determinar aquela que vai permitir a produção de inóculo abundante e virulento ao menor custo.

A experiência acumulada por alguns pesquisadores no Brasil mostra que alguns fungos com claro potencial para a geração de novos bio-herbicidas comerciais se apresentam como inviáveis para essa finalidade em função de dificuldades na produção de inóculo em larga escala. Um exemplo é o do fungo *Sphaceloma poinsettiae* Jenk. & Ruehle, causador de doença severa (verrugose) numa das plantas daninhas mais nocivas para a agricultura nacional *Euphorbia heterophylla* L. (o leiteiro ou amendoim-bravo). O crescimento do fungo *in vitro* é extremamente lento e a sua esporulação é inconsistente (Nechet et al., 2004). O problema pode, por vezes, ser superado com pesquisas relacionadas à nutrição dos agentes de biocontrole (determinação de fontes de carbono e nitrogênio, pH, temperatura e incubação, oxigenação, dentre outros), e de produção por meio de fermentação líquida. Um exemplo desse tipo de estudo é o desenvolvido para outro agente de biocontrole de *E. heterophylla* – o fungo *Lewia chlamidosporiformans* (Vieira & Barreto, 2010). É nítido que a interação entre

os fitopatologistas (que usualmente iniciam os estudos) com pesquisadores da área de fermentações e empresas com experiência na área será fundamental para viabilizar a produção de bio-herbicidas, pois em muitos casos o “gargalo” é muito mais tecnologia do que pesquisa.

Dentre os obstáculos para a consolidação dos bio-herbicidas podemos destacar ainda o desenvolvimento de formulações apropriadas. Tais formulações deveriam proteger os microrganismos, aumentar seu crescimento e sobrevivência no solo ou na folha, e os manter viáveis e ativos (Kennedy & Kremer, 1996). É fato amplamente reconhecido que a exposição à radiação ultravioleta em comprimentos de onda principalmente entre 280 - 320 nm é deletéria para células de seres vivos e pode reduzir a eficiência de fungos como agentes de controle biológico (Harm, 1980; Zimmermann, 1982; Moore et al., 1993; Ghajar et al., 2006). Em função disto, pesquisadores envolvidos no desenvolvimento de biopesticidas têm investigado a adição de protetores de UV em formulações visando proteger os propágulos de agentes de biocontrole. Como exemplos, no campo dos micro-herbicidas temos: a) formulações líquidas contendo riboflavina (1%), prolina (1%), galato propyl (1%), melanina (0,1%) ou ácido ascórbico (5%) aumentando a germinação de conídios de *P. alismatis* expostos à radiação ultravioleta, quando comparados a testemunhas não tratadas; b) formulações líquidas contendo prolina (1%), ácido ascórbico (1%), tirosina (1%) e melanina (0,01%) também protegeram dos efeitos da UV conídios de *Colletotrichum orbiculare* (Berk. & Mont.) Arx (fungo avaliado para o controle de *Xanthium spinosum* L.) (Ghajar et al., 2006). O maior desafio na formulação de micro-herbicidas é superar a necessidade que muitos fungos fitopatogênicos têm de um período de molhamento foliar demorado. Diversos trabalhos mostram que a umidade relativa do ar e o molhamento foliar são os principais componentes epidemiológicos determinantes do sucesso ou fracasso do patógeno em controlar uma população de planta daninha (Te Beest, 1991). Por exemplo, *Corynespora cassiicola* f.sp. *lantanae* ocasionou 100% de incidência de mancha foliar nas plantas submetidas a período de molhamento de 24 horas e nível de desfolha acima de 70%, mas em períodos de molhamento inferiores a seis horas, ocorreu significativo declínio no percentual de incidência de folhas doentes (Pereira et al., 2003). Assim, formulações de bio-herbicidas necessitam conter umectantes ou outros elementos aditivos que absorverão água da atmosfera ou irão prevenir a evaporação ou formulações com ingredientes que consigam reter umidade por mais tempo, como no caso de emulsões invertidas (água

em óleo) (Greaves et al., 2001). Além disso, formulações apropriadas podem também reduzir a dose de inóculo necessária para matar a planta-alvo, reduzindo potencialmente o custo do bio-herbicida (Auld & Morin, 1995).

Outro obstáculo até então encontrado para o desenvolvimento de bio-herbicidas era a falta de uma legislação própria regulamentando a questão. Produtos biológicos para uso na agricultura, apesar de serem considerados de baixa periculosidade e toxicidade, são regulados pela Lei Nº 7.802/89 (Brasil, 1989), Lei de agrotóxicos e afins. Entretanto, a partir da publicação da Portaria Normativa Ibama nº 131/97 (Ibama 1997), com uma normativa específica para produtos biológicos, esses produtos puderam ter requisitos técnicos específicos e diferenciados dos agrotóxicos. Embora representasse um avanço na legislação de produtos biológicos a contínua discussão do processo de registros de produtos microbianos levou à aprovação em março de 2006 da norma de registro de produtos microbianos (Instrução Normativa Conjunta Nº 3, regulada pela Lei 7.802 de 1989 de Decreto 4.074 de 2002) (Brasil, 2006). Essa norma contempla todos os aspectos referentes às avaliações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) e Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Mapa), aumentando assim a possibilidade de registro de produtos microbiológicos (Lopes, 2009; Bettiol et al., 2014).

Bio-herbicidas no Brasil

Desde o início da década de 1980, quando o interesse pela utilização de fitopatógenos como herbicidas biológicos se iniciava, registrou-se algum envolvimento de cientistas brasileiros neste campo de pesquisa. Na Embrapa Soja explorou-se pioneiramente *Bipolaris euphorbiae* (Hansford) Muchovej como potencial mico-herbicida para o controle de *E. heterophylla* (Yorinori, 1984; Yorinori & Gazziero, 1989); na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia investigou-se o controle de *Cyperus rotundus* L. utilizando-se o fitopatógeno *Cercospora caricis* Dearn. & House (Borges Neto et al., 2000; Ribeiro et al., 1997) e *Senna obtusifolia* L. utilizando-se *Alternaria cassiae* (Ávila et al., 2000); na UNESP Jaboticabal as plantas-alvo investigadas mais intensamente foram plantas aquáticas *Egeria densa* Planch e *E. najas* Planch - para ambas investigando-se o potencial de um isolado de *Fusarium graminearum* Schwabe (Borges Neto & Pitelli, 2004; Mendes et al., 2004) e *C. piaropi* Tharp para o controle de *E. crassipes* (Ávila & Pitelli, 2004); na

Universidade Federal de Viçosa, diversos fungos e plantas-alvo foram estudados com vistas ao desenvolvimento de mico-herbicidas. Dentre estes estão: *Corynespora cassicola* (Berk. e Curt.) Wei f. sp. *lantana* para o controle de *Lantana camara* L. (Pereira et al., 2003); *Nimbya alternantherae* (Holcomb & Antonopoulos) Simmons & Alcorn para o controle de *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. (Pomella et al., 2007); *P. alismatis* para o biocontrole de *Sagittaria montevidensis* Cham. & Schltdl. (Lima et al., 2010); *Lewia chlamydosporiformans* B. S. Vieira & R. W. Barreto tendo como alvo *E. heterophylla*. Para este último, um produto foi efetivamente desenvolvido e o uso do fungo como mico-herbicida está em processo de patenteamento (INPI PI0701556-9) (Vieira et al., 2009). O desenvolvimento desse produto envolveu o levantamento detalhado da micobiota brasileira de *Euphorbia heterophylla* (Barreto & Evans, 1998), a descoberta e a descrição do fungo *L. chlamydosporiformans* (Vieira & Barreto, 2005), estudos básicos da biologia do fungo e de sua interação com a planta, estudos de produção massal (Vieira & Barreto, 2010), além de numerosos experimentos e testes demonstrativos.

O controle biológico de plantas daninhas não pode ser mais entendido apenas como um método alternativo, uma mera curiosidade ou uma novidade. Essa estratégia, embora ainda pouco conhecida e explorada no Brasil, tem uma longa história com exemplos notáveis de sucesso. Além disso, não deve ser tratado como último recurso, quando outras estratégias falharem (Barreto, 2009).

Referências

- ADAMS, E. B. Fungi in classical biocontrol of weeds. In: BURGE, M. N. (Ed.). **Fungi in biological control systems**. Manchester University Press, 1988. p. 111-124.
- ADKINS, S. Introduction to weed science. In: JULIEN, M.; WHITE, G. **Biological control of weeds: theory and practical application**. Canberra: ACIAR, 1997. (ACIAR. Monograph, 49).
- ANDEF. Associação Nacional de Defesa Vegetal. Disponível em: <<http://www.andef.com.br>>. Acesso em: 20 dez. 2014.
- ASH, G. J. The science, art and business of successful bioherbicides. **Biological Control**, v. 52, p. 230-240, 2010.
- AULD, B. A. On the social value of biological control of weeds. **International Journal of Social Economics**, v. 25, n. 6/8, p. 1199-1206, 1998.

AULD, B. A.; MORIN, L. Constraints in the development of bioherbicides. **Weed Technology**, v. 9, p. 638-652, 1995.

ÁVILA, Z. R.; MELLO, S. C. M.; RIBEIRO, Z. M. A.; FONTES, E. M. G. Produção de inóculo de *Alternaria cassiae*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 533-541, 2000.

ÁVILA, Z. R.; PITELLI, R. A. Efeito de condições de cultivo sobre a produção e virulência de *Cercospora piaropi*. **Summa Phytopathologica**, v. 30, p. 382-388, 2004.

AYRES, P.; PAUL, N. Weeding with fungi. **New Scientist**, London, n. 1732, p. 36-39, 1990.

BARRETO, R. W. Controle biológico de plantas daninhas com fitopatógenos. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (Ed.). **Biocontrole de doenças de planta: uso e perspectivas**. Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 101-128.

BARRETO, R. W.; EVANS, H. C. The mycobiota of the weed *Mikania micrantha* in southern Brazil with particular reference to fungal pathogens for biological control. **Mycological Research**, v. 99, p. 343-352, 1995a.

BARRETO, R. W.; EVANS, H. C. Mycobiota of the weed *Cyperus rotundus* in the state of Rio de Janeiro, with an elucidation of its associated *Puccinia* complex. **Mycological Research**, v. 99, p. 407-419, 1995b.

BARRETO, R. W.; EVANS, H. Fungal pathogens of *Euphorbia heterophylla* and *E. hirta* in Brazil and their potential as weed biocontrol agents. **Mycopathologia**, v. 141, p. 21-36, 1998.

BARRETO, R. W.; ELISSON, C. A.; SIER, M. K.; EVANS, H. C. Biological control of weeds with plant pathogens: four decades. In: ABROL, D. P.; SHANKAR, U. (Ed.). **Integrated pest management**. CAB International, 2012. p. 299-350.

BORGES NETO, C. R.; PITELLI, R. A. Adjuvantes e herbicidas e a infectividade de *Fusarium graminearum*, agente potencial de biocontrole de *Egeria densa* e *Egeria najas*. **Planta Daninha**, v. 22, p. 77- 83, 2004.

BORGES NETO, C. R.; MELLO, S. C. M.; RIBEIRO, Z. M. A.; ÁVILA, Z. R.; MALT, J. S.; FONTES, E. M. G. Influência da idade da planta, período de umidificação e concentração de inóculo no desenvolvimento de sintomas provocados por *Cercospora caricis* em tiririca. **Fitopatologia Brasileira**, v. 25, p. 138-142, 2000.

BOYETTE, C. D.; TEMPLETON, G. E.; SMITH JR., R. J. Control of winged waterprimrose (*Jussiaea decurrens*) and northern jointvetch (*Aeschynomene virginica*) with fungal pathogens. **Weed Science**, v. 27, n. 5, p. 497-501, 1979.

BETTIOL, W.; MAFFIA, L. A.; CASTRO, M. L. M. P. Control biológico de enfermidades de plantas em Brasil. In: BETTIOL, W.; RIVERA, M. C.; MONDINO, P.; MONTEALEGRE, J. R.;

COLMENARÉZ, Y. C. (Ed.). **Control biológico de enfermedades de plantas en América Latina y el Caribe**. Facultad de Agronomía, 2014. p. 91-137.

BRASIL. Lei no 7.802, de 12 de julho de 1989. Dispõe sobre agrotóxicos, seus componentes e afins. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 12 jul. 1989. Seção 1, p. 11459-11460.

BRASIL. Instrução Normativa Conjunta nº 3, de 10 de março de 2006. Estabelece normas específicas para fins de registro de produtos microbiológicos que se caracterizem como produtos técnicos, agrotóxicos e afins. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 15 mar. 2006. Seção 1, p. 23-25.

CHANDRAMOHAN, S.; CHARUDATTAN, R.; SONODA, R. M.; SINGH, M. Field evaluation of a fungal pathogen mixture for the control of seven weedy grasses. **Weed Science**, v. 50, p. 204-213, 2002.

CHANDRAMOHAN, S.; CHARUDATTAN, R.; SONODA, R. M.; SINGH, M. Multiple-pathogen strategy: a novel approach for bioherbicide control of several weeds. In: INTERNATIONAL WEED SCIENCE CONGRESS, 3., 2000, **Abstracts...** Corvallis: International Weed Science Society, 2000. p. 182.

CHARUDATTAN, R. The use of natural and genetically altered strains of pathogens for weed control. In: HOY, A. M.; DONALD, C. (Ed.). **Biological control in agricultural IPM systems**. Academic Press, 1985. p. 347-372.

CHARUDATTAN, R. Integrated control of waterhyacinth (*Eichhornia crassipes*) with a pathogen, insects, and herbicides. **Weed Science**, v. 34, p. 26-30, 1986. Suplemento.

CHARUDATTAN, R. The mycoherbicide approach with plant pathogens. In: TE BEEST, D. O. (Ed.). **Microbial control of weeds**. Chapman & Hall, 1991. p. 24-57.

CHARUDATTAN, R. The role of pesticides in altering biocontrol efficacy. In: ALTMAN, J. (Ed.). **Pesticide interactions in crop production: beneficial and deleterious effects**. CRC Press, 1993. p. 421-432.

CHARUDATTAN, R. Biological control of aquatic weeds by means of fungi. In: PITERSE, A. H.; MURPHY, K. J. (Ed.). **Aquatic weeds: the ecology and management of nuisance aquatic vegetation**. Oxford University Press, 1990. p. 186-201.

CHARUDATTAN, R. Biological control of weeds by means of plant pathogens: significance for integrated weed management in modern agro-ecology. **BioControl**, v. 46, p. 229-260, 2001.

CHARUDATTAN, R.; DELOACH JR., J. Management of pathogens and insects for weed control in agroecosystems. In: ALTIERI, M. A.; LIEBMAN, M. (Ed.). **Weed management in agroecosystems: ecological approaches**. CRC Press, 1988. p. 245-264.

- CHARUDATTAN, R.; PETERSEN, M. S.; HIEBERT, E. **Use of an inoculation suspension comprising tobacco mild green mosaic virus to induce lethal hypersensitive response in tropical soda apple plants.** US. N. US2004162220-A1. 2004.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; VICTORIA FILHO, R.; SILVA, C. B. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. **Planta Daninha**, v. 12, n. 1, p. 13-20, 1994.
- COTHER, E. J.; VAN DE VEN, R. The influence of nutrition on conidial production by *Rhynchosporium alismatis* and on their subsequent infectivity to *Alisma lanceolatum*. **Biocontrol Science and Technology**, v. 9, p. 395-407, 1999.
- CLIQUET, S.; ASH, G.; COTHER, E. Production of chlamydospores and conidia in submerged culture by *Rhynchosporium alismatis*, a mycoherbicide of Alismataceae in rice crops. **Biocontrol Science and Technology**, v. 14, p. 801-810, 2004.
- CULLEN, J. M.; HASAN, S. Pathogens for the control of weeds. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 318, p. 213-224, 1988.
- CULLEN, J. M.; KABLE, P. F.; CATT, M. Epidemic spread of a rust imported for biological control. **Nature**, v. 244, p. 462-464, 1973.
- ELLISON, C. A.; BARRETO, R. W. Prospects for the management of invasive alien weeds using co-evolved fungal pathogens: a Latin American perspective. **Biological Invasions**, v. 6, p. 23-45, 2004.
- ELLISON, C. A.; PEREIRA, J. M.; THOMAS, S. E.; BARRETO, R. W.; EVANS, H. C. Studies on the rust *Prospodium tuberculatum*, a new classical biological control agent released against the invasive alien weed *Lantana camara* in Australia. I: life-cycle and infection parameters. **Australasian Plant Pathology**, v. 35, p. 306-319, 2006.
- EVANS, H. C. Fungal pathogens of some subtropical and tropical weeds and the possibilities for the biological control. **Biocontrol News and Information**, v. 8, p. 7-30, 1987.
- EVANS, H. C.; ELLISON, C. A. Classical biological control of weeds with microorganisms: past, present, prospects. **Aspects of Applied Biology**, v. 24, p. 39-49, 1990.
- EVANS, K. J.; MORIN, L.; BRUZZESE, E.; ROUSH, R. T. Overcoming limits on rust epidemics in Australian infestations of European blackberry. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOLOGICAL CONTROL OF WEEDS, 11., 2004, **Proceedings...** CSIRO, 2004. p. 514.
- FIGUEIREDO, G. Herbicidas microbiológicos empregados no controle de plantas daninhas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 3, p. 111-132, 1995.
- FOWLER, S. V.; BARRETO, R. W.; DODD, S.; MACEDO, D. M.; PAYNTER, Q.; PEDROSA-MACEDO, J. H.; PEREIRA, O. L.; PETERSON, P.; SMITH, L.; WAIPARA, N.; WINKS, C. J.; FORRESTER, G. *Tradescantia fluminensis*, an exotic weed affecting native forest regeneration. **Biological Control**, v. 64, p. 323-329, 2013.

- GHAJAR, F.; HOLFORD, P.; COTHER, E.; BEATTIE, A. Enhancing survival and subsequent infectivity of conidia of potential mycoherbivores using UV protectants. **Biocontrol Science and Technology**, v. 16, p. 825-839, 2006.
- GREAVES, M. P.; PRING, R. J.; LAWRIE, J. A proposed mode of action of oil-based formulations of a microbial herbicide. **Biocontrol Science and Technology**, v. 11, p. 273-281, 2001.
- GHOSHEH, H. Z. Constraints in implementing biological weed control: a review. **Weed Biology and Management**, v. 5, n. 3, p. 83-92, 2005.
- HALLETT, S. G. Where are the bioherbicides? **Weed-Science**, v. 53, n. 3, p. 404-415, 2005.
- HARM, W. **Biological effects of ultra-violet radiation**. Cambridge University Press, 1980.
- HASAN, S. Recent advances in the use of plant pathogens as biocontrol agents of weeds. **Pest Articles and News Summaries**, v. 20, p. 437-443, 1974.
- HASAN, S. Plant pathogens and biological control of weeds. **Review of Plant Pathology**, v. 59, p. 349-355, 1980.
- HASAN, S.; AYRES, P. G. The control of weeds through fungi principles and prospects. **New Phytologist**, v. 115, n. 23, p. 201-222, 1990.
- HEAP, I. **The international survey of herbicide resistance weeds**. Disponível em: <<http://www.weedscience.com>>. Acesso em: 20 nov. 2014.
- HEBAR, K. P.; LUMSDEN, R. D.; LEWIS, J. A.; POCH, S. M.; BAILEY, B. A. Formulation of mycoherbicidal strains of *Fusarium oxysporum*. **Weed Science**, v. 46, p. 501-507, 1998.
- HOLMSTRÖM-RUDDICK, B.; MORTENSEN, K. Factors affecting pathogenicity of benomyl-resistant strain of *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *malvae*. **Mycology Research**, v. 99, n. 9, p. 1108-1112, 1995.
- HUFFAKER, C. B. An overview of biological control, with particular commentary on biological weed control. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOLOGICAL CONTROL OF WEEDS, 4., 1976, **Proceedings...** University of Florida, 1976. p. 3-10.
- IBAMA. Portaria Normativa nº 131, de 3 de novembro de 1997. Estabelece os critérios a serem adotados. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 04 nov. 1997. Seção 1, p. 24988-24991.
- IMAIZUMI, S.; NISHINO, T.; MIYABE, K.; FUJIMORI, T.; YAMADA, M. Biological control of annual bluegrass (*Poa annua* L.) with a Japanese isolate of *Xanthomonas campestris* pv. *poae* (JT-P482). **Biological Control**, v. 8, n. 1, p. 7-14, 1997.

JACKSON, M. A.; SCHISLER, D. A.; SLININGER, P. J.; BOYETTE, C. D.; SILMAN, R. W.; BOTHAST, R. J. Fermentation strategies for improving the fitness of a bioherbicide. **Weed Technology**, v. 10, p. 645-650, 1996.

JAHROMI, F. G.; VAN DE VEN, R. J.; COTHER, E. J.; ASH, G. J. The interaction between *Plectosporium alismatis* and sublethal doses of bensulfuron-methyl reduces the growth of starfruit (*Damasonium minus*) in rice. **Biocontrol Science and Technology**, v. 16, p. 929-940, 2006.

JULIEN, M.; WHITE, G. **Biological control of weeds: theory and practical application**. ACIAR, 1997. 192 p. (ACIAR. Monograph, 49).

KENNEDY, A. C.; KREMER, R. J. Microorganisms in weed control strategies. **Journal of Production Agriculture**, v. 9, n. 4, p. 480-485, 1996.

KILLGORE, E. M.; SUGIYAMA, L. S.; BARRETO, R. W. Prospective biological control of *Miconia calvescens* in Hawai'i with a non-indigenous fungus *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc. f.sp. *Miconiae*. In: REGIONAL CONFERENCE ON MICONIA CONTROL, 1., 1997, **Proceedings...** Tahiti: [s.n.], 1997. p. 72-77.

LANOISELET, V.; COTHER, E. J.; ASH, G.; VEN, R. Production, germination and infectivity of chlamydospores of *Rhynchosporium alismatis*. **Mycological Research**, v. 105, p. 441-446, 2001.

LIMA, B. V.; SOARES, D. J.; BARRETO, R. W. Inoculum density of *Plectosporium alismatis*, a potential mycoherbicide, in relation to control of the aquatic weed *Sagittaria montevidensis*. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, p. 236-240, 2010.

LOPES, R. B. A indústria no controle biológico: produção e comercialização de microrganismos no Brasil. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (Ed.). **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 15-28.

LORETTA, O. R.; WILLIAMS, M. M. Potential of *Phomopsis amaranthicola* and *Microsphaeropsis amaranthi*, as bioherbicides for several weedy *Amaranthus* species. **Crop Protection**, v. 25, n. 1, p. 39-46, 2006.

LORENZI, H. J. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais**. Plantarum, 1982. 425 p.

LORENZI, H. **Plantas daninhas no Brasil**. Plantarum, 2000.

MACEDO, D. M.; PEREIRA, O. L.; HORA JÚNIOR, B. T.; WEIR, B. S.; BARRETO, R. W. Mycobiota of the weed *Tradescantia fluminensis* in its native range in Brazil with particular reference to classical biological control. **Australasian Plant Pathology**, v. 45, p. 45-56, 2016.

- MCFADYEN, R. E. C.; HARVEY, G. L. Distribution and control of rubber-vine, *Cryptostegia grandiflora*, a major weed in northern Queensland. **Plant Protection Quarterly**, v. 5, p. 152-155, 1990.
- MENDES, D.; PITELLI, R. A.; COELHO, L. Efeito de concentrações de herbicidas sobre aspectos biológicos de *Fusarium* spp. (isolados FCAV#940). **Planta Daninha**, v. 22, p. 85-93, 2004.
- MEYER, J. Y.; TAPUTUARAI, R.; KILLGORE, E. Dissemination and impacts of the fungal pathogen *Colletotrichum gloeosporioides* f.sp. *miconiae* on the invasive alien tree *Miconia calvescens*, in Tahiti (South Pacific). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOLOGICAL CONTROL OF WEEDS, 12., 2007, La Grande Monte. **Proceedings...** CAB International, 2008. p. 594-600.
- MOORE, D.; BRIDGE, P. D.; HIGGINS, P. M.; BATEMAN, R. P.; PRIOR, C. Ultra-violet radiation damage to *Metarhizium flavoviride* conidia and the protection given by vegetable and mineral oils and chemical sunscreens. **Annals of Applied Biology**, v. 122, p. 605-616, 1993.
- MORIN, L.; AULD, B. A.; BROWN, J. F. Synergy between *Puccinia xanthii* and *Colletotrichum orbiculare* on *Xanthium occidentale*. **Biological Control**, v. 3, p. 296-310, 1993.
- MORTENSEN, K. Biological control of weeds with plant pathogens. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 8, p. 229-231, 1986.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Toward sustainable agricultural systems in the 21st century**. National Academic Press, 2010. 570 p.
- NECHET, K. L.; BARRETO, R. W.; MIZUBUTI, E. S. G. *Sphaceloma poinsettiae* as a potential biological control agent for wild poinsettia (*Euphorbia heterophylla*). **Biological Control**, v. 30, p. 556-565, 2004.
- PHATAK, S. C.; CALLAWAY, M. B.; VAVRINA, C. S. Biological control and its integration in weed management systems for purple and yellow nutsedge (*Cyperus rotundus* and *C. esculentus*). **Weed Technology**, v. 1, p. 84-91, 1987.
- PEREIRA, J. M.; BARRETO, R. W.; ELLISON, C. A.; MAFFIA, L. A. *Corynespora cassiicola* f.sp. *lantanae*: a potential biocontrol agent from Brazil for *Lantana camara*. **Biological Control**, v. 26, p. 21-31, 2003.
- POMELLA, A. W.; BARRETO, R. W.; CHARUDATTAN, R. *Nimbya alternantherae* a potential biocontrol agent for alligatorweed, *Alternanthera philoxeroides*. **BioControl**, v. 52, p. 271-288, 2007.
- RIBEIRO, Z. M. A.; MELLO, S. C. M.; FURLANETTO, C.; FIGUEIREDO, G.; FONTES, E. M. Characteristics of *Cercospora caricis*, a potential biocontrol agent of *Cyperus rotundus*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 22, p. 513-519, 1997.

RIZZARDI, M. A.; VIDAL, R. A.; FLECK, N. G.; AGOSTINETTO, D. Resistência de plantas aos herbicidas inibidores da acetolactato sintase. **Planta Daninha**, v. 20, n. 1, p. 149-158, 2002.

SAMUEL, E. Is there a safe limit for weedkillers? **New Scientist**, n. 2361, p. 10, 2002.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA AGRÍCOLA. **SINDAG e o setor de defensivos agrícolas**. 2013. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/down_site/forum/2013/agrotoxicos/palestras/Forum2013_FERNANDOMARINI.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2015.

SMITH JR., R. J. Integration of microbial herbicides with existing pest management programs. In: CHARUDATTAN, R.; WALKER, H. L. (Ed.). **Biological control of weeds with plant pathogens**. John Miley & Sons, 1982. p. 189-203.

STEVEN, R.; HOLT, J.; GHERSA, C. **Weed ecology**: implications for management. 2. ed. John Wiley & Sons, 1997. 589 p.

TE BEEST, D. O. Biological control of weeds with microbial herbicides. **Fitopatologia Brasileira**, v. 9, p. 443-453, 1984.

TEBEEST, D. O. Ecology and epidemiology of fungal plant pathogens studied as biological control agents of weed. In: TE BEEST, D. O. (Ed.). **Microbial control of weeds**. Chapman and Hall, 1991. p. 97-114.

TE BEEST, D. O.; YANG, X. B.; CISAR, C. R. The status of biological control of weeds with fungal pathogens. **Annual Review of Phytopathology**, v. 30, p. 637-657, 1992.

TEMPLETON, G. E.; TE BEEST, D. O. Biological weed control with mycoherbicides. **Annual Review Phytopathology**, v. 17, p. 301-310, 1979.

TEMPLETON, G. E. Status of weed control with plant pathogens. In: CHARUDATTAN, R.; WALKER, H. L. (Ed.). **Biological control of weeds with plant pathogens**. John Wiley & Sons, 1982. p. 29-44.

TEMPLETON, G. E. Biological control of weeds with fungal pathogens. **Tropical Pest Management**, v. 30, p. 333-338, 1984.

TOMLEY, A. J.; EVANS, H. C. Establishment of, and preliminary impact studies on, the rust, *Maravalia cryptostegiae*, of the invasive alien weed, *Cryptostegia grandiflora* in Queensland. **Australasian Plant Pathology**, v. 53, p. 475-484, 2004.

VIEIRA, B. S.; BARRETO, R. W. *Lewia chlamidosporiformans* sp. nov. from *Euphorbia heterophylla*. **Mycotaxon**, v. 94, p. 245-248, 2005.

- VIEIRA, B. S.; BARRETO, R. W. Liquid culture production of chlamydospores of *Lewia chlamidosporeformans* (Ascomycota: Pleosporales), a mycoherbicide candidate for wild poinsettia. **Australasian Plant Pathology**, v. 39, p. 1-7, 2010.
- VIEIRA, B. S.; NECHET, K. de L.; BARRETO, R. W. **Herbicida biológico para o controle de plantas daninhas contendo propágulos de *Lewia chlamidosporeformans***. BRPI0701556-9 A2. 18 maio 2007, 06 jan. 2009. Disponível em: <<http://www.patentesonline.com.br/herbicida-biologico-para-controle-de-plantasdaninhas-contendo-propagulos-do-fungo-190141.html>>. Acesso em: 25 nov. 2014.
- WAPSHERE, A. J. Biological control of weeds. In: HOLZNER, W.; NUMATA, M. (Ed.). **Biology and ecology of weeds**. The Hague: Dr. Junk Publishers, 1982. p. 47-56.
- WATSON, A. K. The classical approach with plant pathogens. In: TE BEEST, D. O. (Ed.). **Microbial control of weeds**. Chapman and Hall, 1991. p. 3-23.
- WATSON, A. K.; WIMORE, L. A. Biological control, a component of integrated weed management. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOLOGICAL CONTROL OF WEEDS, 7., 1989, Rome. **Proceedings...** Istituto Sperimentale per la Patologia Vegetale, 1989. p. 101-106.
- YANDOC-ABLES, C. B.; ROSSKOPF, E. N.; CHARUDATTAN, R. **Plant pathogens at work: progress and possibilities for weed biocontrol. Part 1: Classical vs. bioherbicide approach**. 2006a. Disponível em: <<http://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/WeedBiocontrolPart1.aspx>>. Acesso em: 13 mar. 2016.
- YANDOC-ABLES, C. B.; ROSSKOPF, E. N.; CHARUDATTAN, R. **Plant pathogens at work: progress and possibilities for weed biocontrol. Part 2: Improving weed control efficiency**. 2006b. Disponível em: <<http://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/WeedBiocontrolPart2.aspx>>. Acesso em: 13 mar. 2016.
- YORINORI, J. T. Biological control of milkweed (*Euphorbia heterophylla*) with pathogenic fungi. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOLOGICAL CONTROL OF WEEDS, 6., 1984, **Proceedings...** Agriculture Canadá, 1985. p. 677-681.
- YORINORI, J. T.; GAZZIERO, D. L. P. Control of milkweed (*Euphorbia heterophylla*) with *Helminthosporium* sp. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOLOGICAL CONTROL OF WEEDS, 7., 1989, **Proceedings...** Istituto Sperimentale per la Patologia Vegetale, 1989. p. 571-576.
- ZENNI, R. D.; ZILLER, S. R. An overview of invasive plants in Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 34, p. 431-446, 2011.
- ZYLBERSZTAJN, D.; MONTEIRO, G. F. A.; CALEMAN, S. M. Q. Perfil da indústria brasileira de defensivos. **Agroanalysis**, v. 29, p. 34-37, 2009.

ZIMMERMANN, G. Effect of high temperature and artificial sunlight on the viability of conidia of *Metarhizium anisopliae*. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 40, p. 36-40, 1982.

Literatura Recomendada

BARRETO, R. W. **Studies on the pathogenic mycoflora of selected weeds from the State of Rio de Janeiro**. 1991. Tese (Doutorado) - University of Reading, 1991.

BARRETO, R. W.; EVANS, H. C. The mycobiota of the weed *Chromolaena odorata* in southern Brazil with particular reference to fungal pathogens for biological control. **Mycological Research**, v. 98, p. 1107-1116, 1994.

BARRETO, R. W.; EVANS, H. C. Fungal biocontrol of weeds and its potential role in ecosystem sustainability. In: CHAPELA, H. I.; PALM, M. E. (Ed.). **Mycology in sustainable development: expanding concepts and vanishing borders**. Parkway Publishers, 1996.

BARRETO, R. W.; EVANS, H. C.; ELLISON, C. A. The mycobiota of the weed *Lantana camara* in Brazil, with particular reference to biological control. **Mycological Research**, v. 99, p. 769-782, 1995.

BARRETO, R. W.; EVANS, H. C.; POMELLA, A. W. V. Fungal pathogens of *Calotropis procera* (rubber bush), with two new records from Brazil. **Australasian Plant Pathology**, v. 28, p. 126-130, 1999.

BARRETO, R. W.; CHARUDATTAN, R.; POMELLA, A. W. V.; HANADA, R. E. Biological control of neotropical aquatic weeds with fungi. **Crop Protection**, v. 19, p. 697-703, 2000.

LUSTOSA, D. C. ***Corynespora cassicola* e *Cercospora* sp. como agentes potenciais para o controle biológico de *Commelina benghalensis***. 2001. 53 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 2001.

NECHET, K. L. **Avaliação de *Alternaria euphorbiicola*, *Bipolaris euphorbiae* e *Sphaceloma poinsettiae* como agentes de controle biológico de *Euphorbia heterophylla***. 2002. 129 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, 2002.

PEREIRA, J. M.; BARRETO, R. W. Additions to the mycobiota of the weed *Lantana camara* (Verbenaceae) in Southeastern Brazil. **Mycopathologia**, v. 151, p. 71-80, 2000.

PEREIRA, O. L.; BARRETO, R. W. The mycobiota of the weed *Mitracarpus hirtus* in Minas Gerais (Brazil), with particular reference to fungal pathogens for biological control. **Australasian Plant Pathology**, v. 34, p. 41-50, 2005.

POMELLA, A. W. V. **Avaliação do fungo *Duosporium yamadanum* no controle Biológico da tiririca (*Cyperus rotundus*)**. 1999. 183 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, 1999.

SEIXAS, C. D. S.; BARRETO, R. W.; KILLGORE, E. Fungal pathogens of *Miconia calvescens* (Melastomataceae) from Brazil, with reference to classical biological control. **Mycologia**, v. 99, p. 99-111, 2007.

SOARES, D. J.; BARRETO, R. W. Additions to the Brazilian mycobiota of the grassy weed, *Hymenachne amplexicaulis*, with a discussion on the taxonomic status of *Paraphaeosphaeria*