

Controle de Plantas Daninhas

Métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia

Maurílio Fernandes de Oliveira
e Alexandre Magno Brighenti



*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***

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Rod. MG 424 Km 45

Caixa Postal 151

35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone: (31) 3027-1207 / 3027-1100

www.embrapa.br

www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Unidade responsável pelo conteúdo e edição

Embrapa Milho e Sorgo

Comitê de Publicações

Presidente

Sidney Netto Parentoni

Secretário-Executivo

Elena Charlotte Landau

Membros

Antonio Claudio da Silva Barros, Cynthia Maria Borges Damasceno, Maria Lúcia Ferreira

Simeone, Roberto dos Santos Trindade, Rosângela Lacerda de Castro

Revisão de texto: *Antonio Claudio da Silva Barros*

Normalização bibliográfica: *Rosângela Lacerda de Castro*

Editoração eletrônica: *André Augusto Leão Diniz*

Fotos da capa: *Hector Nicolucci, Marcos Roberto da Silva, Alexandre Magno Brighenti, Kátia de Lima Nechet, Francisco Skora Neto*

1ª edição

1ª impressão (2018) 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

Embrapa Milho e Sorgo

Controle de Plantas Daninhas: Métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia / Maurílio Fernandes de Oliveira, Alexandre Magno Brighenti, editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.
196 p. : il. color; 16 cm x 22 cm.

ISBN 978-85-7035-851-6

1. Planta daninha. 2. Manejo integrado. 3. Agricultura orgânica. 4. Agroecologia. I. Brighenti, Alexandre Magno. II. Embrapa Milho e Sorgo. III. Título.

CDD (21.ed.)

Autores

Alexandre Ferreira da Silva

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Alexandre Magno Brighenti

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Anastácia Fontanetti

Agrônoma, doutora em Fitotecnia, professora da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP

Bruno Sérgio Vieira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, em Fitopatologia, professor na Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias, Monte Carmelo, MG

Evander Alves Ferreira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador e professor da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, MG

Fernanda Satie Ikeda

Engenheira-agrônoma, Doutora em Fitotecnia, pesquisadora da Embrapa Agrossil-vipastoril, Sinop, MT

Flavia Cresciulo de Almeida

Graduanda em Ciências Econômicas na Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, RJ

Francisco Skora Neto

Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Ciência das Plantas Daninhas, pesquisador do Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar), Londrina, PR

Gabriela Cristina Salgado

Graduação em Agroecologia, mestre em Fitotecnia, Piracicaba, SP

Germani Concenço

Engenheira-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

Guilherme Reis de Carvalho Peres

Atuário e estatístico, mestre em Ciências Econômicas, analista operacional do Departamento de Agronegócios e Alimentos da Financiadora de Estudos e Projetos, Rio de Janeiro, RJ

Helena Regina Pinto Lima

Bióloga, doutora em Ciências Biológicas, professora da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Seropédica, RJ

Ignacio Aspiazú

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, professor da Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), Montes Claros, MG

João Carlos Cardoso Galvão

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, professor Titular da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG

José Roberto Antoniol Fontes

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM

Kátia de Lima Nechet

Agrônoma, doutora em Fitopatologia, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Leandro Galon

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, professor da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim, Erechim, RS

Luiz Fernando Duarte de Moraes

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

Maurílio Fernandes Oliveira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Michael Giepen

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agricultura Orgânica, Universidade de Bonn, Bonn, Alemanha

Robert Weingart Barreto

Agrônomo, Ph.D em Botânica (Micologia), professor titular do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

Sarah Cristina Caldas Oliveira

Bióloga, doutora em Ecologia e Recursos Naturais, professora da Universidade de Brasília (UnB), Brasília, DF

Sergio de Andrade Coutinho Filho

Administrador de Empresas, CEO Zasso Brasil, Indaiatuba, SP

Thaiz Capdeville Gribel Santos

Graduanda em Ciências Econômicas na Universidade Federal Fluminense - UFF e estagiária do Departamento de Agronegócios e Alimentos da Finep, Rio de Janeiro, RJ

Ulrich Köpke

Agrônomo, Ph.D em Agronomia e Ciência das Culturas da Universidade de Bonn, Regina-Pacis, Bonn, Alemanha

Marcos Roberto da Silva

Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Agrícola, Professor da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA

Thiago de Santana Marques

Engenheiro Agrônomo, Autônomo, Salvador, BA

Sérgio Augusto Hiroaki Kurachi

Engenheiro-agrônomo, Pesquisador Científico Aposentado da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Instituto Agronômico de Campinas, Jundiaí, SP

Afonso Peché Filho

Engenheiro-agrônomo, Doutor em Ciências Ambientais, Pesquisador Científico da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Instituto Agronômico de Campinas, Jundiaí, SP

Luiz Antonio Daniel

Engenheiro-agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Professor Pleno do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, SP

Apresentação

O controle de plantas daninhas é prática importante na produção de alimentos. O período compreendido entre os anos de 1940 e 1970, chamado de Revolução Verde, é caracterizado por avanços no uso de mecanização rural, de irrigação, de fertilizantes e de defensivos, bem como a seleção de culturas mais produtivas. O crescimento da oferta de herbicidas no País foi rápido porque o governo brasileiro adotou programa nacional de defensivos agrícolas com incentivos para importação e, seguidamente, para a abertura de fábricas. Para este período, na literatura não há descrições de políticas públicas ou programas de governo de incentivo para tecnologias não químicas que controlem plantas daninhas. Mais recentemente, em 2009, houve a regulamentação do registro diferenciado de substâncias para uso nos sistemas orgânicos de produção.

Esta obra descreve o controle de plantas daninhas por técnicas testadas e disponíveis para uso (roçadeira para entrelinha, flamejamento, eletrocussão, solarização) e por técnicas em desenvolvimento (produtos com ação herbicida, microrganismos para controle biológico de plantas, substâncias com efeito alelopático, consorciação) fundamentadas em princípios biológicos, de mecânica, de cobertura morta e de alelopatia.

Editores

Prefácio

O estudo de método de controle de plantas daninhas em sistema de produção orgânico de milho foi iniciado em projeto na Embrapa. A atividade tinha o objetivo de conhecer a dinâmica das populações de plantas daninhas no milho orgânico cultivado em consórcio com feijão-de-porco na entrelinha. A partir desta demanda iniciou-se ampla revisão de literatura dos métodos de controle para uso em cultivos orgânicos descritos na literatura. A revisão proporcionou a publicação do Comunicado Técnico 213 na Embrapa*. Na etapa de revisão não foi encontrada nenhuma literatura nacional contendo descrição dos métodos de controle de plantas daninhas em sistemas orgânicos. A partir deste documento, elaboramos o índice do livro e o convite a especialistas nos temas. O objetivo primeiro da obra foi produzir literatura nacional abordando os métodos de controle de plantas daninhas para uso em agricultura orgânica e agroecologia. Para tanto, o foco foi direcionado para os métodos mecânicos, físico, cultural, biológico, e de alelopatia.

No Capítulo 1, iniciamos a obra descrevendo os métodos de controle de plantas daninhas. Neste capítulo, os leitores encontrarão breve descrição dos métodos e exemplificações. No Capítulo 2, encontra-se o uso de uma roçadeira como eficiente método de controle das plantas daninhas na entrelinha de culturas anuais com uso consolidado na produção de soja orgânica. Também nesta parte, a eficiência da eletrocussão como método seletivo de controle de plantas daninhas é exemplificada. O efeito de plantas de cobertura no controle de plantas daninhas e suas especificidades estão descritos no Capítulo 3. O cultivo consorciado com o feijão-de-porco e a dinâmicas das populações de plantas daninhas estão presentes no Capítulo 4. O Capítulo 5 descreve nova formulação de herbicida, e os resultados de eficiência de controle. O controle biológico de plantas daninhas encontra-se no Capítulo 6. O uso da solarização como método de controle de plantas daninhas está descrito no Capítulo 7. Já o Capítulo 8 traz a descrição do potencial da alelopatia no controle de plantas daninhas. O modelo da Finep de financiamento para o desenvolvimento de implementos agrícolas está descrito no Capítulo 9. A técnica de flamejamento, a eficiência da mesma na seletividade de culturas e no controle de plantas daninhas está descrita no capítulo 10. Nesse contexto, a Embrapa pode se inserir na discussão do tema Manejo de Plantas Daninhas para sistemas de produção orgânico. Além disso, a obra contribui para o tema Controle de Plantas Daninhas, com literatura complementar ao método químico, amplamente estudado e descrito. No trabalho de construção deste livro, notamos resultados práticos do uso das

tecnologias por longo tempo em áreas de cultivo.

A partir desta obra, detectamos que esta área da pesquisa demanda esforço da comunidade científica, tanto na produção de tecnologias de controle de plantas daninhas quanto de resultados do uso das tecnologias. Na literatura internacional, é reduzido o número de livros com este conteúdo.

Antônio Álvaro Corsetti Purcino
Chefe-Geral da Embrapa Milho e Sorgo

* OLIVEIRA, M. F. de; KARAM, D.; MATRANGOLO, W. J. R. Métodos de manejo de plantas daninhas. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 14 p.

Sumário

Capítulo 1. Métodos de controle de plantas daninhas, **11**

Capítulo 2. Controle de plantas daninhas por roçada e eletrocussão, **34**

Capítulo 3. Plantas de cobertura no manejo de plantas daninhas, **52**

Capítulo 4. Cultivo intercalar no manejo das plantas daninhas, **70**

Capítulo 5. Herbicidas naturais com potencial para uso em agricultura orgânica, **82**

Capítulo 6. Controle biológico de plantas daninhas com fungos fitopatogênicos, **113**

Capítulo 7. Solarização do solo e controle de plantas daninhas, **137**

Capítulo 8. Alelopatia: potencialidades do seu uso no controle do mato, **148**

Capítulo 9. Financiamento e inovação na produção de implementos agrícolas, **165**

Capítulo 10. Método de controle físico de plantas daninhas com alta temperatura - Flamejamento, **176**

Métodos de controle de planta daninhas

Alexandre Ferreira da Silva, Germani Concenço, Ignacio Aspiazú, Leandro Galon, Evander Alves Ferreira

Introdução

As ferramentas de controle de plantas daninhas são didaticamente divididas em manejo preventivo, controle cultural, mecânico, físico, biológico e químico. A escolha do método de controle deverá levar em consideração o tipo de exploração agrícola, as espécies daninhas presentes na área, o relevo, a disponibilidade de mão de obra e equipamentos locais, além de aspectos ambientais e econômicos. O agricultor deve, sempre que possível, integrar os métodos de controle, pois a diversificação das estratégias de manejo da comunidade infestante implica maior eficiência e economia no seu controle.

Para adequada elaboração da estratégia de manejo, é importante conhecer a capacidade da espécie infestante, em relação à cultura, de competir por água, luz e nutrientes, além dos possíveis impactos negativos que determinadas espécies podem ocasionar na qualidade do produto a ser colhido e, também, prejuízos indiretos ocasionados por hospedar pragas e doenças. Torna-se necessário, também, conhecer o tipo de relacionamento entre as plantas cultivadas e infestantes que permite a sua convivência de forma pacífica (Silva et al., 2007a). À exceção de algumas poucas espécies que devem ser erradicadas, sabe-se que as infestantes podem proporcionar benefícios ao sistema, por auxiliarem na ciclagem de nutrientes e por serem hospedeiras de inimigos naturais. No entanto, é necessário conhecer o período que a cultura deve permanecer livre da interferência de plantas daninhas para que ela não tenha a sua produtividade quantitativa e/ou qualitativamente prejudicada.

A redução da interferência das plantas daninhas na cultura deverá ser realizada até que o nível de perda seja igual ao incremento do custo de controle, ou seja, as perdas não interfiram no rendimento econômico da cultura. O manejo da comunidade infestante deve ser realizado de maneira sustentável, através da integração dos métodos de controle, objetivando proporcionar a máxima vantagem competitiva para a cultura sobre as espécies infestantes, buscando preservar a máxima qualidade do produto colhido, o meio ambiente e a saúde humana e animal.

A separação teórico-didática e a caracterização de cada método de

manejo de plantas daninhas estão amplamente disponíveis em livros-texto, razão pela qual neste capítulo seremos breves na conceituação e focaremos na aplicação em campo das principais práticas de manejo não químicas. Isto tornará mais fácil a compreensão e a adoção do manejo de plantas daninhas, tanto por produtores como por técnicos da área agropecuária.

Manejo Preventivo

Prevenção é a melhor estratégia no controle de plantas daninhas. O manejo preventivo visa prevenir a entrada, o estabelecimento e/ou a disseminação de determinadas espécies-problema em áreas por elas ainda não infestadas (Silva et al., 2007b).

Um bom programa de manejo de plantas daninhas inclui a constante vigilância sobre a área de cultivo, identificando as espécies infestantes na fase jovem e adulta ou através de suas sementes. Deve-se ficar atento à presença de plantas daninhas que podem vir a se tornar problemas na área e, sempre que possível, enfatizar a prevenção (evitar sua entrada na área) sobre o controle (sua erradicação). O controle será sempre mais oneroso.

Como exemplos de medidas preventivas, pode-se citar: limpar cuidadosamente máquinas e implementos agrícolas; usar sementes fiscalizadas ou certificadas com elevado valor cultural (pureza x germinação); usar adubos orgânicos, como esterco de curral, somente depois que estiver totalmente fermentado; colocar animais comprados em quarentena; não deixar que animais se locomovam de áreas infestadas para áreas não infestadas, sem antes passar por período de quarentena; manter as bordas dos canais de irrigação sempre limpas; manter áreas contínuas às lavouras livres da presença de plantas daninhas, para que elas não produzam sementes e repovoem a área cultivada; e eliminar focos de infestação.

A falta desses cuidados tem colaborado na ampla disseminação de diversas espécies como a buva (*Conyza* spp.) e o capim-amargoso (*Digitaria insularis*), em razão da ausência de controle dessas plantas em áreas contínuas à propriedade e da limpeza inadequada de implementos agrícolas que transitam de regiões infestadas para outras livres de infestação. O picão-preto (*Bidens pilosa*) e o capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) são amplamente disseminados ao se aderirem aos pelos dos animais; o arroz-vermelho, pelo uso de sementes de arroz contaminadas. Outras espécies apresentam meios específicos de disseminação.

Controle Cultural

O controle cultural consiste no uso de boas práticas agrícolas visando favorecer o crescimento da cultura em detrimento das plantas daninhas. Esse método de controle engloba a adoção de práticas comuns, como rotação de culturas, variação de espaçamento e população de plantas e cobertura verde, dentre outras, direcionadas à supressão das plantas daninhas (Silva et al., 2007b). Estas práticas auxiliam ainda na redução do banco de sementes do solo, diminuindo os níveis de infestação da lavoura nos anos subsequentes.

Uma das práticas mais positivas ao sistema produtivo é a rotação de culturas. Diversos estudos mostram redução na produtividade da soja e de outros cultivos agrícolas quando estes são plantados na mesma área, sem rotação (Crookston et al., 1991; Meese et al., 1991; West et al., 1996). A variação no espaçamento ou na densidade das plantas cultivadas pode contribuir para o maior sombreamento das plantas daninhas, reduzindo seu estabelecimento, além de promover maximização da captação de radiação solar pela cultura (Herbert & Litchfield, 1984; Anaele & Bishnoi, 1992; Knezevic et al., 2003).

Áreas bem manejadas possuem desenvolvimento equilibrado e fatores prejudiciais dificilmente ocorrerão em altos níveis. Em termos gerais, as seguintes práticas devem ser preconizadas em todos os ambientes de produção agropecuária para a supressão das plantas daninhas:

Rotação de culturas – Proporciona a diversificação do ambiente, reduzindo a seleção das espécies e diminuindo a ocorrência daquelas mais problemáticas, ou de mais difícil controle;

Integração Lavoura-Pecuária – Quando viável, é um dos sistemas mais eficientes na supressão de plantas daninhas, por causa da grande variação no manejo nos diferentes sistemas utilizados na área. O produtor que utilizar este sistema, e manejá-lo corretamente, raramente terá problemas com alta infestação de plantas daninhas;

Consórcios de cultivos – O principal sistema de consórcio no Centro-Oeste do Brasil é milho + braquiária na safrinha. Após a colheita do milho, a braquiária cresce e protege o solo, reduzindo o acesso das plantas daninhas à luz, até o cultivo subsequente. Outras opções de consórcio, no entanto, estão sendo estudadas;

Época de plantio e arranjo espacial de plantas – A cultura deve ser plantada na época recomendada pelo zoneamento agrícola da região pois será quando ela germinará mais rapidamente, fechando o dossel e suprimindo o crescimento das plantas daninhas. O arranjo das plantas – resultante do espaçamento entrelinhas e densidade de plantas – fará com que o dossel da cultura feche rapidamente.

Cobertura do solo na entressafra – Altamente eficiente em suprimir diversas espécies daninhas, incluindo a buva e o capim-amargoso. O solo nunca deve ficar sem cobertura.

Em áreas que não seguem pelo menos alguns dos preceitos apresentados, nem mesmo o melhor herbicida disponível será capaz de controlar as plantas daninhas de forma satisfatória (Figura 1). O reflexo da não utilização das práticas previamente descritas é visto no aumento dos custos de produção e nos problemas com plantas daninhas resistentes a herbicidas.

Foto: Germani Concenço



Figura 1. Infestação de buva no momento da dessecação pré-plantio da soja, em área sem cultivo no inverno (área em pousio).

Um dos principais objetivos em se adotar uma cultura de cobertura é substituir as plantas daninhas, de mais difícil controle, por plantas de mais fácil manejo por ocasião da implantação do cultivo subsequente (Ceccon; Concenço, 2014). Tanto a composição como o nível da infestação são influenciados pelo nível de cobertura da área, sendo que plantas daninhas de mais difícil controle estão associadas à cobertura deficiente do solo (Concenço et al., 2014a).

Para obter sucesso no manejo das plantas daninhas de difícil controle, nem práticas de manejo nem uso de herbicidas, isoladamente, alcançará sucesso. Deve-se manejar a área corretamente, aplicando os defensivos no momento correto. A cobertura do solo na entressafra varia com a região, em função das espécies mais adaptadas às condições edafoclimáticas locais. Na região Centro-Oeste, os produtores têm sucesso no estabelecimento do milho safrinha pós-soja consorciado com braquiária; cultivo de trigo; com a utilização de plantas oleaginosas de inverno, como crambe, nabo ou canola; ou mesmo com plantio de crotalária – a opção mais adequada depende das características edafoclimáticas de cada região, do objetivo e dos problemas enfrentados pelo produtor.

O consórcio milho safrinha-braquiária

Na Figura 2 é demonstrado o nível de infestação por plantas daninhas no pré-plantio de uma lavoura de soja, em outubro, em áreas com diferentes culturas ou espécies cultivadas no período de safrinha anterior.

O nível de infestação de plantas daninhas em sistemas de monocultivo aumenta com o tempo de mal manejo da área. A semeadura de braquiária após a soja, tanto solteira como em consórcio com milho, é capaz de manter baixos níveis de infestação. Em sistemas com menor ocupação do solo, como milho solteiro no espaçamento de 90 cm entrelinhas ou feijão-caupi, aumenta a importância de espécies mais adaptadas ao sistema de cultivo, como buva, capim-amargoso, trapoeraba, corda-de-viola, erva-de-touro e outras.

A área deve estar sempre ocupada por espécie cultivada com fins econômicos ou não, que proporcione elevada quantidade de palha residual, com distribuição uniforme na superfície do solo. O sistema de consórcio milho + braquiária, adotado em algumas regiões do Brasil, resulta em menor nível de infestação por plantas daninhas em áreas de sucessão à soja, ao longo do tempo de utilização. Embora seja uma grande mudança de conceitos passarmos a plantar no meio do milho o que estávamos acostumados a matar (controlar), isto se faz necessário para garantia do sucesso dos nossos sistemas de cultivo (Figuras 3 e 4).

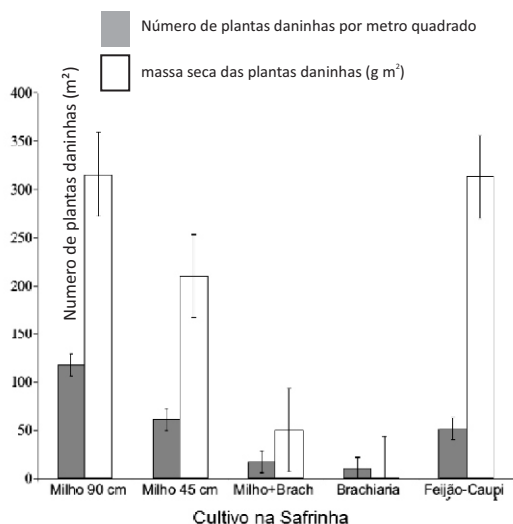


Figura 2. Ocorrência de plantas daninhas no pré-plantio da soja, em outubro, em áreas com diferentes espécies ou culturas implantadas na safrinha.

Fonte: Concenção et al. (2013).

Fotos: Germani Concenção



Figura 3. Entrelinha da cultura do milho consorciado com braquiária piatã.



Figura 4. Multiplicação de plantas daninhas no final do cultivo do milho safrinha solteiro. Destacam-se trapoeraba, poaia-branca e buva.

O cultivo de trigo

A contínua utilização do binômio soja - milho + braquiária também pode ocasionar a seleção de espécies daninhas adaptadas a ambos os sistemas de cultivo. Com o tempo, passa a ser uma “mono-bi-cultura”. O trigo apresenta-se como uma boa opção para a segunda safra em algumas regiões do Centro-Oeste e também para o inverno frio do Sul do Brasil, considerando o ponto de vista de supressão de plantas daninhas (Figura 5). O trigo é conhecido por liberar ao solo substâncias alelopáticas com capacidade de inibir o desenvolvimento de diversas espécies de plantas, sendo bastante eficiente na supressão da buva (Figura 6). O uso do trigo em áreas infestadas com buva, e outras espécies de difícil controle na soja, pode trazer grandes benefícios à produtividade da soja em sucessão.



Figura 5. Lavoura de trigo que sofreu somente aplicação de metsulfuron-methyl no início do ciclo vegetativo.

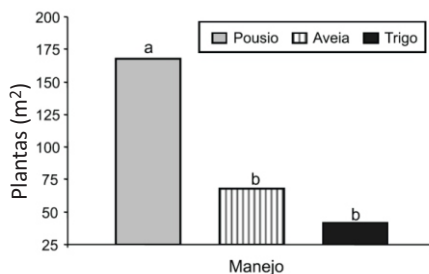


Figura 6. Ocorrência de plantas de buva no momento da dessecação pré-plantio da cultura da soja, em função da cultura utilizada no inverno.

Fonte: Paula et al. (2011)

Oleaginosas de inverno

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) é uma espécie com conhecido efeito alelopático sobre outras plantas na área. Sua massa, no entanto, degrada rapidamente por causa da baixa relação C:N, e o solo após algumas semanas pode apresentar cobertura deficiente. Da mesma forma, o crambe possui potencial de suprimir significativamente as plantas daninhas pela exsudação de compostos inibidores (Grodzinsky, 1992). A canola (Figura 7), embora não amplamente reconhecida como exsudadora de compostos alelopáticos, possui ciclo mais longo que o crambe ou o nabo forrageiro, com efeito significativo na redução da infestação de plantas daninhas dentro das culturas plantadas em sucessão (Figura 8).



Figura 7. Área com cultivo de canola no inverno, com objetivo de produção de biocombustível. A supressão de importantes plantas daninhas como a buva e o capim-amargoso é um desejável efeito secundário das oleaginos.

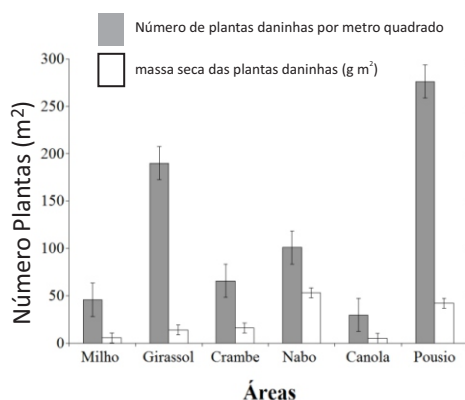


Figura 8. Ocorrência de plantas daninhas aos 15 dias após o plantio da soja, em áreas com diferentes espécies implantadas na safrinha precedente.

Fonte: dados originais.

Embora os aspectos técnico-econômicos da implantação de crambe, nabo ou canola ainda estejam sendo estudados, e a cadeia produtiva ainda seja um tanto frágil, já existe algum mercado e estas culturas podem ser consideradas alternativas para complementar o manejo químico de plantas daninhas em áreas altamente infestadas, onde os prejuízos à produtividade da soja em decorrência de plantas daninhas sejam muito altos.

Controle Mecânico

Os métodos de controle mecânico de plantas daninhas são o arranquio e a capina manual, a roçada e o cultivo mecanizado.

O arranquio manual de plantas daninhas é o mais antigo de todos os métodos, por não demandar nenhuma ferramenta. É bastante conveniente e eficiente para áreas localizadas, como gramados de jardins, pequenos canteiros de produção orgânica ou até em áreas públicas urbanas. Já a capina manual implica o uso de implementos como enxadas, enxadões, sachos ou similares. Apresenta rendimento operacional superior ao do arranquio manual, com custo inicial superior por conta da aquisição dos implementos, mas em contraponto seu rendimento permite a adoção em pequenas áreas, em escala superior ao arranquio manual. Essas duas formas de controle mecânico ganharam muita importância em áreas urbanas, pois, de acordo com a Lei 6.288/02, aprovada pela câmara dos deputados em 2009, é proibido o uso de qualquer tipo de agrotóxico em áreas públicas urbanas. Apesar de bastante útil nestes casos mencionados, o controle mecânico acaba se tornando trabalhoso e oneroso em áreas maiores, o que inviabiliza sua adoção.

A roçada manual ou mecânica é uma excelente opção para culturas com espaçamentos maiores, como pomares e cafezais, principalmente em terrenos declivosos, onde o controle da erosão é fundamental (Silva et al., 2007a). O espaço das entrelinhas é mantido roçado e, por meio de outros métodos de controle, a fileira de plantas, em nível, é mantida no limpo. Também em terrenos baldios, beiras de estradas e pastagens, a roçada pode ser considerada importante método de controle.

O cultivo mecanizado pode ser feito com implementos tracionados por animais e tratores. A opção de tração por animais é mais barata e se adapta melhor a espaçamentos reduzidos e ambientes declivosos. Em áreas com cafezais mais adensados do sul de Minas Gerais este método vem sendo empregado com bastante sucesso. Porém, em áreas mais planas, a tração mecânica leva vantagem pela rapidez nas operações. Plantas anuais jovens, com dois a quatro pares de folhas, são facilmente controladas em condições de alta radiação solar e solo seco. O cultivo quebra a relação que existe entre raiz e solo, suspende a absorção de água e expõe a raiz a condições ambientais desfavoráveis (Silva et al., 2007a). No entanto, este método apresenta dificuldades no controle de plantas daninhas na linha da cultura, e também apresenta baixa eficiência quando realizado em condições de solo molhado, além de ser ineficiente no controle de plantas que se reproduzem por partes vegetativas.

De acordo com Van der Weide et al. (2008), novas ferramentas e implementos relacionados ao cultivo mecanizado vêm sendo desenvolvidos, especialmente pela demanda dos agricultores orgânicos. Pesquisas em vários países europeus durante a última década têm se concentrado na mecanização usando grades, implementos com dedos de torção e com ar comprimido (pneumáticos). Implementos inteligentes estão sendo desenvolvidos, oferecendo formas mais avançadas para controlar plantas daninhas, incluindo as de maior porte, deixando as plantas da cultura ilesas.

A inclusão de tecnologias inovadoras, incluindo a detecção avançada e robótica, em combinação com os novos sistemas de cultivo, pode levar a um avanço no controle físico de plantas daninhas em culturas plantadas em linhas, levando a reduções significativas, ou até mesmo à eliminação da necessidade de capina manual.

Controle Físico

O controle físico consiste na utilização de métodos como cobertura morta, solarização, fogo, inundação, dragagem, drenagem e eletricidade (corrente elétrica e micro-ondas) no controle das plantas daninhas.

Cobertura Morta

A manutenção dos restos culturais sobre a superfície do solo pode servir como uma barreira física, impedindo a emergência de sementes de plantas daninhas que apresentam pequenas quantidades de reserva, a qual, às vezes, não é suficiente para que a planta ultrapasse a cobertura morta em busca de luz. O processo de decomposição desses resíduos vegetais libera gradualmente uma série de compostos orgânicos denominados aleloquímicos, que podem interferir negativamente na germinação e emergência das plantas indesejáveis. Quanto maior a quantidade de palha maior será a barreira física e maior será a quantidade de compostos aleloquímicos produzidos, o que poderá influenciar negativamente a germinação das plantas daninhas. A quantidade e qualidade da palha dependem do material de origem, das condições climáticas e do sistema de manejo adotado.

O conteúdo de matéria orgânica em áreas de sistema de plantio direto é, normalmente, superior aos da área de semeadura convencional. Maior teor de matéria orgânica está relacionado a maior atividade e diversidade biológica do solo. O aumento da macro e da microfauna pode favorecer o crescimento da população de organismos que se alimentam das sementes e das plântulas infestantes e, por conseguinte, diminuem o potencial de infestação nas áreas de plantio (Silva et al., 2009). Além desse fator, a palhada intercepta a radiação solar, impedindo a sua chegada à superfície do solo, o que ocasiona efeito negativo sobre sementes de plantas daninhas fotoblásticas positivas (Paes & Rezende, 2001). Outro efeito da manutenção dos resíduos vegetais sob a superfície do solo é a menor oscilação no grau de umidade e temperatura da superfície; esta flutuação pode favorecer a germinação das sementes das plantas daninhas da camada superficial do solo. Quando condições à germinação não são fornecidas, as sementes permanecem por algum tempo quiescentes, as que não germinam são forçadas à dormência, e acabam por perder a viabilidade se permanecerem por muito tempo a espera de condições para estabelecimento (Dorn et al., 2013).

Solarização

A solarização consiste na utilização de coberturas plásticas que objetivam aumentar a temperatura do solo, por causa da ação da radiação solar, e ocasionar a morte das plantas daninhas pelo excesso de calor. A efetividade deste método depende de um clima quente, úmido e de intensa radiação solar com dias longos para aumentar a temperatura do solo o suficiente para ocasionar a morte das plantas daninhas.

Em razão das suas particularidades, como demanda de filme plástico, umidade homogênea no solo, mão de obra, equipamentos específicos, pessoal treinado e outras características, a prática de solarização somente é viável para pequenas áreas ou para cultivos protegidos, como a plasticultura. A prática é adotada no Brasil principalmente em cultivos de hortifruti-granjeiros de maior valor agregado, como morango e outras pequenas frutas rasteiras, bem como em floricultura profissional ou artesanal, em condições experimentais em instituições de pesquisa e mais recentemente em hortas artesanais. É boa opção para qualquer empreendimento que demande solo isento de invasoras e patógenos e que necessite de pequenos volumes de solo.

A presença de umidade no solo é importante por aumentar sua habilidade em conduzir calor e por estimular a germinação do banco de sementes da área. Por esse motivo, recomenda-se a cobertura do solo com o filme plástico quando ele estiver na capacidade de campo. Altas temperaturas podem prejudicar a germinação de sementes e ocasionar a morte das plântulas germinadas por causa da inibição de processos metabólicos. Sob as condições do verão israelense, duas a quatro semanas de solarização promoveram controle efetivo de plantas daninhas anuais, sendo percebido até após um ano da sua utilização (Horowitz et al., 1983). No entanto, Egley (1983) afirmou que o tratamento de uma área com solarização não eliminou as sementes dormentes na camada superficial do solo; o tratamento matou as sementes não dormentes e reduziu drasticamente o número de plântulas de daninhas que poderiam ter emergido. Zimdahl (1993) ressalta a eficiência diferencial da solarização sobre espécies daninhas, relatando que o caruru foi eliminado em mais de 90% após duas semanas de solarização, mas a buva não foi controlada mesmo após oito semanas de solarização.

De maneira geral, a solarização tende a ser mais efetiva, principalmente no controle das plantas daninhas localizadas na camada superficial do solo, em razão do maior aquecimento (Silva et al., 2007b). De acordo com Ghini et al. (2002), o solo deve permanecer coberto pelo maior período de tempo possível até o plantio; em condições de campo, recomenda-se período

de 1 a 2 meses durante a época de maior incidência de radiação solar.

Fogo

O fogo é um método de controle físico que já foi muito popular antes das extensas regulações ambientais que limitaram esta prática, e também antes que a ciência tivesse compreensão clara sobre seus efeitos deletérios na microbiota do solo. Muitas vezes somente um palito de fósforo era necessário para aplicação desta prática de manejo de plantas de forma descontrolada.

Na agricultura contemporânea, no entanto, outros métodos de queima monitorada de áreas ou de direcionamento das chamas por equipamentos próprios foram desenvolvidos, mas sua aplicação é limitada pelo aumento do preço dos combustíveis, pelos possíveis danos à cultura sob aplicação equivocada, e também pelo surgimento de herbicidas seletivos às culturas. A procura pelos queimadores ou lança-chamas ocorre, principalmente, por agricultores orgânicos de cana-de-açúcar visando o controle de plantas daninhas para a produção de açúcar orgânico, citros, café, soja, milho e algodão e para dessecação das ramas de batata (Marchi et al., 2008).

Na agricultura convencional normalmente os produtores optam por herbicidas para cumprir o papel que poderia ser do controle físico com fogo. Os queimadores usam combustíveis derivados de petróleo e possuem uma proteção para não afetar a cultura. Não há estatística clara sobre a área total no Brasil onde as plantas daninhas sejam manejadas com uso do fogo, mas todas as estatísticas apontam para pequena área, se forem desconsideradas as áreas de queima de cana-planta, ainda adotada em situações específicas.

Ascard et al. (2007) afirmam que o fogo é uma opção atrativa de controle por não deixar resíduos na cultura, no solo e na água, por controlar espécies tolerantes ou resistentes a herbicidas, e ainda pode ser usado em culturas para as quais não existem herbicidas registrados. Outra vantagem em relação ao controle químico é que, à exceção à condição de chuvas intensas, a utilização das chamas não é afetada pelas condições ambientais prevaletentes. Em sistemas de produção orgânica, o controle com lança-chamas é lucrativo em algumas culturas por reduzir a necessidade de capinas manuais. Em comparação ao cultivador, o lança-chamas pode ser utilizado em solo molhado, não traz sementes que estavam enterradas para a superfície do solo e ainda pode eliminar algumas pragas e patógenos de plantas. Como desvantagens, os autores citam o alto custo da mão de obra, do combustível e

do equipamento, quando comparado com a aplicação de herbicidas; a baixa seletividade; e a falta de efeito residual, com a necessidade de repetir queimas.

O fogo controla as plantas daninhas por ocasionar a coagulação e a desnaturação de proteínas, o aumento da permeabilidade de membrana e a inativação de enzimas. A temperatura da chama, geralmente, alcança mais de 1.000 °C (Beltrão, 2004). Por este motivo, deve-se ficar atento à velocidade de caminhamento e à pressão utilizada, para que as chamas não atinjam a cultura. A eficiência deste método de controle é mais influenciada pelo estágio de desenvolvimento da planta daninha do que pela sua densidade. De maneira geral, quanto mais desenvolvida a planta maior a necessidade de calor para promover o seu controle. As espécies podem apresentar tolerância diferenciada ao uso de chamas, sendo que algumas plantas podem não ser controladas por este método (Ascard et al., 2007), embora sofram danos que atrasem seu desenvolvimento.

Chamas não são muito efetivas na destruição das sementes de plantas daninhas, pois até mesmo uma pequena camada de solo é o suficiente para proteger a maioria delas do fogo. O controle somente ocorrerá se a semente estiver exposta na superfície do solo. Desta forma, pode-se dizer que este método é mais efetivo no controle em pós-emergência das plantas daninhas.

Inundação, dragagem e drenagem

O controle por inundação impede que as raízes das plantas sensíveis obtenham oxigênio para sobreviver. Em culturas inundadas, como o arroz, o manejo da água é comumente reconhecido como uma importante prática cultural no controle da comunidade infestante de espécies perenes, como tiririca (*Cyperus rotundus*), grama-seda (*Cynodon dactylon*) capim-kikuio (*Penisetum clandestinum*), e de muitas espécies anuais que podem ser erradicadas sob inundação prolongada (Silva et al., 2007b). Porém, não é eficiente no controle de plantas daninhas adaptadas a condição de solos encharcados, como capim-arroz (*Echinochloa* sp.), arroz-vermelho (*Oryza sativa*), chapéu-de-couro (*Sagittaria* spp.) e diversas outras. É uma prática que exige nivelamento de terrenos, o que resulta em custo maior, além do gasto excessivo de água.

Em locais de baixo fluxo de água é comum a grande deposição de lodo que pode propiciar o crescimento vigoroso de determinadas espécies semiaquáticas. Nesta situação, a dragagem do ambiente pode ser utilizada

como uma eficiente estratégia de controle (Pitelli, 1987). O sucesso deste método consiste na remoção das estruturas reprodutivas das plantas, como rizomas, tubérculos e outros. Já a drenagem pode ser utilizada no controle de plantas daninhas aquáticas. Ao drenar a água do ambiente, as espécies hidrófitas não conseguem se desenvolver.

Corrente elétrica e micro-ondas

O uso de micro-ondas (radiação eletromagnética) e corrente elétrica tem sido considerado uma ferramenta no manejo de plantas daninhas desde o início do século 19. As micro-ondas podem ocasionar efeitos tóxicos seletivos a plantas e sementes. O primeiro equipamento patenteado com esta tecnologia para o controle de plantas daninhas é datado de 1895 (Zimdahl, 1999). Elas podem produzir efeitos térmicos e não térmicos. Os efeitos térmicos são a principal fonte de toxicidade. Há correlação positiva entre o conteúdo de água da semente e da planta com a sua susceptibilidade a energia eletromagnética. Baixas frequências podem superar a dormência das sementes. Vários equipamentos de controle de plantas daninhas com micro-ondas vêm sendo desenvolvidos, patenteados e comercializados ao redor do mundo, mas sem muito sucesso. Eles demandam grande quantidade de energia e podem ser utilizados em pré e/ou pós-emergência. Quando a aplicação é realizada na pós-emergência, em razão do grande conteúdo de água dos seus tecidos, a energia é conduzida por toda a planta. O acúmulo de energia faz com que o conteúdo aquoso da planta alcance altas temperaturas e consequentemente ocasione a morte delas por causa do rompimento das paredes celulares e desnaturação de proteínas. Não há relato de utilização em escala comercial do controle de plantas daninhas por corrente elétrica convencional ou por micro-ondas no Brasil, embora diversas experiências em pequena escala estejam sendo feitas.

Controle biológico

O controle biológico consiste na utilização de parasitas, predadores, ou patógenos capazes de reduzir a população de plantas daninhas e consequentemente sua capacidade de competir, por meio do equilíbrio populacional entre o inimigo natural e a planta hospedeira (Silva et al., 2007b). O objetivo do controle biológico não é erradicar, mas sim reduzir a população para abaixo do nível de dano econômico. De modo geral, a eficiência desse método é duvidosa quando utilizado isoladamente, pois os agentes de

controle, geralmente, são específicos para determinadas espécies de plantas, não atuando contra o complexo florístico local. Estratégias de controle biológico de plantas daninhas vêm sendo utilizadas no manejo de plantas invasoras em pastagens, plantas infestantes em corpos hídricos, plantas daninhas resistentes a herbicidas e na agricultura orgânica.

Os primeiros trabalhos com controle biológico consistiram na introdução de insetos fitófagos exóticos de uma área geográfica para outra com o objetivo de controlar plantas daninhas introduzidas (Tessmann, 2011). Além desta estratégia, denominada inoculativa ou controle biológico clássico, há duas outras estratégias, passíveis de implementação: estratégias inundativa e aumentativa.

Controle Biológico Clássico ou Estratégia Inoculativa

O controle biológico clássico pode ser aplicável nos casos de plantas exóticas que estejam separadas geograficamente dos seus inimigos naturais nativos (Zimdahl, 1999). Essa estratégia de controle não objetiva a redução imediata ou a erradicação de plantas invasoras, mas sim a redução e a estabilização ao longo do tempo da população abaixo do nível de dano econômico. O controle biológico clássico se baseia na ideia de que o controle resulta justamente da pressão constante dos inimigos naturais sobre os seus hospedeiros, pois parte-se do princípio de que tais plantas se tornaram daninhas nos novos ambientes em razão, em grande parte, da ausência de pressão dos inimigos naturais nas novas áreas colonizadas (Tessmann, 2011). O sucesso dessa estratégia de manejo depende da capacidade de autopropagação do agente de controle, assim como de sua capacidade de dispersão natural.

O controle biológico clássico ou estratégia indutiva por patógenos tem sido utilizada em várias partes do mundo no controle de plantas daninhas exóticas. No Brasil, este método foi utilizado no controle biológico de leiteiro com *Bipolaris euphorbiae*, desenvolvido pela Embrapa nos anos 1980 (Yorinori & Gazziero, 1990), sendo mais recentemente utilizado para controle de plantas aquáticas em reservatórios de água.

Essa estratégia possui uma abordagem relativamente simples: descobrir um agente hospedeiro altamente específico para a planta daninha-alvo no seu centro de origem, confirmar a sua segurança e efetividade através de rigorosa avaliação experimental, e introduzir o agente de controle na região onde a planta daninha foi introduzida e requer controle (Charudattan &

Dionoor, 2000). De maneira geral, essa estratégia de controle não é a mais indicada para o manejo de plantas daninhas em culturas anuais, por causa da sua lentidão no controle das invasoras em comparação a curta duração do ciclo das culturas, e não tem exemplos amplamente aplicados no Brasil.

A estratégia de controle biológico clássico tem sido empregada com sucesso no controle de plantas daninhas que invadem áreas de pastagens extensivas, reservas florestais e ecossistemas frágeis, como ecossistemas aquáticos. Nestas áreas, o controle mecânico e/ou químico, muitas vezes, pode ser de difícil execução ou mesmo inviável economicamente, além de poder ocasionar impactos negativos no ambiente. O controle químico ou mecânico, quando exequível, deve ser compreendido como solução de curto prazo pois necessita ser aplicado regularmente; já o controle biológico é uma medida que pode oferecer soluções de longo prazo para estes problemas (Tessmann, 2011).

Estratégia Inundativa

A estratégia inundativa consiste na aplicação massiva de doses de inóculo do patógeno sobre uma grande população de plantas daninhas, com o objetivo de proporcionar rápido controle de determinada espécie infestante. Baseia-se na utilização de fungos, bactérias e vírus. Há manipulação direta das estruturas reprodutivas dos patógenos e de sua distribuição no campo. O inóculo dos agentes de controle pode ser aplicado sobre a população infestante através de métodos convencionais de aplicações de produtos fitossanitários. De maneira similar aos herbicidas químicos, geralmente, há necessidade de aplicações regulares do agente de controle biológico sobre a comunidade infestante, pois ele não sobrevive em densidade suficiente ou não consegue se multiplicar nos restos culturais (Tessmann, 2011).

Em razão da similaridade de uso com os herbicidas químicos, a estratégia inundativa também é conhecida como bio-herbicida. Entretanto, é importante salientar que bio-herbicidas também podem ser utilizados na estratégia aumentativa. Nos Estados Unidos e em alguns outros países, o uso de fitopatógenos no controle de plantas daninhas é tratado como “utilização de pesticida” e, dessa forma, esses patógenos devem ser registrados ou aprovados como biopesticida por agências governamentais especializadas (Charudattan & Dinoor, 2000).

Há uma série de etapas que devem ser cumpridas no rigoroso processo de desenvolvimento e registro de bio-herbicidas: seleção da planta-

alvo; levantamento e identificação de fungos associados e ocorrência na região; estudos da biologia e ciclo de vida do fungo; estudos sobre as condições ambientais que afetam o desenvolvimento da doença; compatibilidade com herbicidas e adjuvantes; viabilidade do patógeno no armazenamento; produção massal do agente de controle; eficiência do pré-requisito em condições de campo; registro e licenciamento; produção e comercialização.

Estratégia Aumentativa

A estratégia aumentativa requer o periódico estabelecimento do agente de controle biológico, porém com menor intensidade e frequência que os bio-herbicidas. Esta estratégia tende a manter constante a pressão biótica de um determinado agente de controle sobre a população de plantas daninhas-alvo. De maneira geral, tem sido implementada com insetos fitófagos e fungos fitopatogênicos de difícil produção em larga escala e que são aplicados periodicamente somente em partes das áreas em que se deseja obter o controle das plantas daninhas (Tessmann, 2011).

No entanto, além da utilização de insetos fitófagos e fungos fitopatogênicos, alguns trabalhos têm demonstrado a eficiência de animais vertebrados como agentes de controle biológico na estratégia aumentativa. Miyazaki e Pitelli (2003) verificaram que o pacu (*Piaractus mesopotamicus*) pode ser um eficiente agente de controle de *Egeria densa* e *E. naja* em cursos de água; EPAGRI (2010) relata o uso de marrecos no controle de plantas de arroz-vermelho durante a entressafra de arroz; Silva et al. (2007b) relatam a utilização de carneiros no controle de plantas daninhas em lavouras de café.

A estratégia aumentativa se diferencia do controle biológico clássico, em que se espera que o agente se disperse para uma grande área após a sua liberação; e também se diferencia do método inundativo, em que se espera que ocorra o rápido controle das plantas daninhas após a aplicação do agente biológico (Tessmann, 2011).

Controle Químico

No final do século XIX e início do século XX, principalmente na Europa e nos Estados Unidos, descobertas de substâncias com propriedades herbicidas acabaram por impor um novo padrão de desenvolvimento para a agricultura (Concenço et al., 2014a). Dentre as mudanças no sistema de produção, provenientes da descoberta de moléculas com ação herbicidas,

pode-se citar a redução da importância da rotação de culturas e a separação da produção animal da vegetal (Zimdahl, 1993). Essas mudanças abriram as portas para o desenvolvimento de sistemas mais intensivos de produção, marcando o início de uma nova etapa na história da agricultura, chamada de *Segunda Revolução Agrícola Contemporânea*, ou “Revolução Verde” (Concenço et al., 2014a). Esta se embasava no uso intensivo de diversos insumos, dentre eles os herbicidas.

O uso intensivo de herbicidas, associado à ausência de outros métodos de controle, tem resultado na contaminação de ambientes e seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas. A resistência é definida como “a habilidade de uma planta sobreviver e reproduzir, após exposição a uma dose de herbicida normalmente letal para o biótipo selvagem da planta” (Heap, 2014). Na atualidade, a buva (*Conyza* spp.) e o capim-amargoso (*Digitaria insularis*), por exemplo, são consideradas as piores espécies daninhas em sistemas de produção em razão da sua resistência ao herbicida glyphosate e à dificuldade de controle com outros herbicidas. O surgimento e a disseminação destas espécies se devem ao uso abusivo do controle químico e à falta de planejamento das atividades agrícolas.

A adoção do controle químico no manejo de plantas daninhas possui tanto vantagens como desvantagens; embora essencial nos sistemas de produção contemporâneos, deve ser sempre adotado em um esquema integrado com os outros métodos de controle.

Principais vantagens e desvantagens da adoção do controle químico de plantas daninhas.

VANTAGENS do controle químico	DESVANTAGENS do controle químico
Prevenção do aparecimento das plantas daninhas	Toxicidade ao homem e animais
Controle efetivo nas linhas de plantio	Equipamentos próprios para aplicação
Flexibilidade quanto à época de aplicação	Equipamentos de proteção do operador
Redução do tráfego de maquinário na área	Risco de danos por deriva a lavouras vizinhas
Rendimento operacional elevado	Danos a culturas plantadas em sucessão
Menor demanda de mão de obra	Resistência de plantas daninhas a herbicidas
	Eficiência influenciada por condições ambientais

Os herbicidas utilizados no controle químico de plantas daninhas podem ser classificados de diversas formas, visando conhecimento de suas propriedades e orientação na sua aplicação. As principais classificações são as seguintes:

Quanto à seletividade

Herbicidas seletivos: Suprimem ou inibem o crescimento de plantas daninhas numa cultura, sem prejudicá-la além de um nível aceitável de recuperação;

Herbicidas não seletivos: Com amplo espectro de ação, capazes de suprimir ou inibir severamente todas as plantas, quando aplicados nas doses recomendadas.

Quanto à translocação

Herbicidas com ação de contato: Não se translocam ou se translocam de forma muito limitada, causando danos nas partes com as quais entram em contato direto. Efeito rápido e agudo, podendo se manifestar em poucas horas;

Herbicidas de ação sistêmica: Efeito mais demorado, crônico. A translocação pode ocorrer pelo xilema, floema e domínios simplásticos, dependendo do herbicida e da época de aplicação. Esses herbicidas dependem de ampla atividade metabólica das plantas.

Quanto à época de aplicação

Herbicidas aplicados em pré-plantio incorporado (PPI): São aplicados ao solo e posteriormente precisam de incorporação mecânica ou através de irrigação, para evitar perdas principalmente por volatilização;

Herbicidas aplicados em pré-emergência (PRÉ): A aplicação é feita após a semeadura ou plantio, mas antes da emergência da cultura, das plantas daninhas ou de ambas. São muito dependentes do teor de umidade no solo;

Herbicidas aplicados em pós-emergência (PÓS): Em aplicações em pós-emergência, o produto deve ser absorvido em maior parte via foliar. Aplicações normalmente são feitas em fases iniciais do crescimento das plantas daninhas.

Controle químico e cultivares transgênicas com resistência a herbicidas

A disponibilização no mercado de cultivares com resistência a herbicidas torna possível a aplicação de herbicidas antes letais às plantas da cultura, durante o seu cultivo. Diversas tecnologias estão por sair no mercado, mas as já disponíveis e amplamente utilizadas são soja e milho com possibilidade de sobreviver à aplicação do herbicida glyphosate. Este herbicida apresenta ação total e não é seletivo às variedades não transgênicas destas culturas.

A aplicação do glyphosate sobre a soja ou o milho tolerante a este herbicida permite obter controle da maioria das espécies de plantas daninhas presentes na lavoura, uma vez que o glyphosate é um herbicida não seletivo de ação total. Algumas espécies, no entanto, sobrevivem à aplicação por apresentarem maior grau de tolerância natural a este herbicida, como a trapoeraba (*Commelina* spp.), erva-de-touro (*Tridax procumbens*) e a corda-de-viola (*Ipomoea* spp.), ou então por terem adquirido resistência, como a buva (*Conyza* spp.) e o capim-amargoso (*Digitaria insularis*).

Outro problema com a sucessão de cultivares transgênicas com tolerância a herbicidas na lavoura é que as próprias culturas passam a se comportar como invasoras, pois plantas voluntárias da espécie cultivada podem se desenvolver no cultivo subsequente. Historicamente as plantas voluntárias eram usualmente controladas por herbicidas de ação total, principalmente o glyphosate, na operação de manejo de pré-semeadura, ou por herbicidas seletivos específicos para cada cultura. No entanto, a inserção da tolerância ao glyphosate na soja e no milho inviabilizou desde então o controle químico das plantas voluntárias com este herbicida.

Portanto, no cultivo em sucessão de culturas transgênicas com tolerância à mesma molécula herbicida, as plantas voluntárias deverão ser controladas por herbicidas alternativos a este evento transgênico.

Referências

ANAELE, O.; BISHNOI, U. R. Effects of tillage, weed control method and row spacing on soybean yield and certain soil properties. **Soil and Tillage Research**.v. 23, n. 4, p. 333-342, 1992.

ASCARD, J.; HATCHER, P. E.; MELANDER, B.; UPADHYAYA, M. K. Thermal weed control. In: UPADHYAYA, M. K.; BLACKSHAW, R. E. **Non-chemical weed management**. CABI, 2007. p. 155-176.

BELTRÃO, N. E. M. Manejo e controle de plantas daninhas em algodão. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 215-250.

CECCON, G.; CONCENÇO, G. Produtividade de massa e dessecação de forrageiras perenes para integração lavoura-pecuária. **Planta Daninha**, v. 32, p. 319-326, 2014.
CHARUDATTAN, R.; DINOOR, A. Biological control of weeds using plant pathogens: accomplishments and limitations. **Crop Protection**, v. 19, p. 691-695, 2000.

CONCENÇO, G.; ANDRES, A.; SILVA, A. F.; GALON, L.; FERREIRA, E. A.; ASPIAZÚ, I. Ciência das plantas daninhas: histórico, biologia, ecologia e fisiologia. In: MONQUERO, P. A. (Ed.). **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. RIMA, 2014a. p. 1-32.

CONCENÇO, G.; SILVA, C. J.; TOMAZI, M.; MARQUES, R. F.; SANTOS, S. A.; ALVES, M. E. S.; PALHARINI, W. G.; FROES, A. L.; FABRIS, D. N. Winter oilseed crops after soybeans as tools for weed management in brazilian savannah cropping systems. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, p. 2277-2288, 2014b.

CONCENÇO, G.; CECCON, G.; CORREIA, I. V. T.; LEITE, L. F.; ALVES, V. B. Ocorrência de espécies daninhas em função de sucessões de cultivo. **Planta Daninha**, v. 31, n. 2, p. 359-368, 2013.

CROOKSTON, R. K.; KURLE, J. E.; COPELAND, P. J.; FORD, J. H.; LUESCHEN, W. E. Rotational cropping sequence affects yield of corn and soybean. **Agronomy Journal**, v. 89, p. 229-232, 1991.

DORN, B.; STADLER, M.; VAN DER HEIJDEN, M.; STREIT, B. Regulation of cover crops and weeds using a roll-chopper for herbicide reduction in no-tillage winter wheat. **Soil and Tillage Research**, v. 134, p. 121-132, 2013.

EGLEY, G. H. Weed seed and seedling reductions by soil solarization with transparent polyethylene sheets. **Weed Science**, v. 31, n. 3, p. 404-409, 1983.

EPAGRI. **Sistema de produção de arroz irrigado em Santa Catarina (pré-germinado)**. 3 ed. rev. atual, 2010. (Epagri. Sistemas de Produção, 32).

GHINI, R.; SCHOENMAKER, I. A. S.; BETTIOL, W. Solarização do solo e incorporação de fontes de matéria orgânica no controle de *Pythium* spp. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 9, p. 1253-1261, 2002.

GRODZINSKY, A. M. Allelopathic effects of cruciferous plants in crop rotation. In: RIZVI, S. J. H.; RIZVI, V. (Ed.). **Allelopathy**, 1992. p. 77-85.

HEAP, I. **International survey of herbicide resistant weeds**. Disponível em: <<http://www.weedscience.org/in.asp>>. Acesso em: 14 dez. 2014.

HERBERT, S. J.; LITCHFIELD, G. V. Growth response of short-season soybean to variations in row spacing and density. **Field Crops Research**, v. 9, p. 163-171, 1984.

HOROWITZ, M.; REGEV, Y.; HERZLINGER, G. Solarization for weed control. **Weed Science**, v. 31, n. 2, p. 170-179, 1983.

KNEZEVIC, S. Z.; EVANS, S. P.; MAINZ, M. Row spacing influences the critical timing for weed removal in soybean (*Glycine max*). **Weed Technology**, v. 17, p. 666-673, 2003.

MARCHI, G.; SILVA, M. R.; MARCHI, E. C. **Uso de lança-chamas e radiação infravermelha no controle de plantas daninhas**. Embrapa Cerrados, 2008. 21 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 225).

MEESE, B. G.; CARTER, P. R.; OPLINGER, E. S.; PENDLETON, J. W. Corn/soybean rotation effect as influenced by tillage, nitrogen, and hybrid/cultivar. **Journal of Production Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 74-80, 1991.

MIYAZAKI, D. M. Y.; PITELLI, R. A. Estudo do potencial do pacu (*Piractus mesopotanics*) como agente de controle biológico de *Egeria densa*, *E. najas* e *Ceratophyllum demersum*. **Planta Daninha**, v. 21, p. 53-59, 2003. Número especial.

PAES, J. M. V. REZENDE, A. M. Manejo de plantas daninhas no sistema plantio direto na palha. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 208, p. 37-42, 2001.

PAULA, J. M.; VARGAS, L.; AGOSTINETTO, D.; NOHATTO, M. A. Manejo de *Conyza bonariensis* resistente ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v. 29, n. 1, p. 217-227, 2011.

PITELLI, R. A. Competição e controle de plantas daninhas em áreas agrícolas. **Série Técnica IPEF**, v. 4, n. 12, p. 1-24, 1987.

SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. Biologia e controle de plantas daninhas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Universidade Federal de Viçosa, 2007a. 367 p.

SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, J. B. Métodos de controle de plantas daninhas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Universidade Federal de Viçosa, 2007b. 367 p.

SILVA, A. A.; GALON, L.; FERREIRA, F. A.; TIRONI, S. P.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F.; ASPIAZÚ, I.; AGNES, E. L. Sistema de plantio direto na palhada e seu impacto na agricultura brasileira. **Revista Ceres**, v. 56, n. 4, p. 496-506, 2009.

TESSMANN, D. J. Controle biológico: aplicações na área de ciência das plantas daninhas. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Omnipax, 2011, p. 79-94.

VAN DER WEIDE, R. Y.; BLEEKER, P. O.; ACHTEN, V. T. J. M.; LOTZ, L. A. P.; FOGELBERG, F.; MELANDER, B. Innovation in mechanical weed control in crop rows. **Weed Research**, v. 48, n. 3, p. 215-224, 2008.

WEST, T. D.; GRIFFITH, D. R.; STEINHARDT, G. C.; KLADIVKO, E. J.; PARSONS, S. D. Effect of tillage and rotation on agronomic performance of corn and soybean: twenty-year study on dark silty clay loam soil. **Journal of Production Agriculture**, v. 9, n. 2, p. 241-248, 1996.

YORINORI, J. T.; GAZZIERO, D. L. Control of milkweed (*Euphorbia heterophylla*) with *Helminthosporium* spp. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE BIOLOGICAL CONTROL OF WEEDS, 7., 1990, Rome. **Proceedings...** USDA-ARS, 1990. p. 571-578.

ZIMDAHL, L. C. Biological weed control. In: ZIMDAHL, L. C. **Fundamentals of weed science**. Fort Collins: Colorado State University, 1999. 565 p.

ZIMDAHL, R. L. **Fundamentals of weed science**. San Diego: Academic Press, 1993. 450 p.

Controle de Plantas Daninhas por Roçada Articulada e Eletrocussão

Alexandre Magno Brighenti
Maurílio Fernandes de Oliveira
Sérgio de Andrade Coutinho Filho

Durante a maior parte de nossa história, a humanidade primou pela produção de alimentos para garantir a sobrevivência e atender a crescente demanda populacional. Técnicas capazes de aumentar a produção agrícola foram desenvolvidas e adotadas por meio da utilização de fertilizantes, produtos fitossanitários, sementes melhoradas e máquinas agrícolas. No entanto, a agricultura é uma das atividades humanas que mais impactam negativamente o meio ambiente (Bittencourt, 2009).

A percepção pela sociedade dos distúrbios provocados pela agricultura tradicional tem levado a uma conscientização da necessidade em preservar o meio ambiente, exigindo padrões de qualidade dos produtos consumidos e do meio ambiente como um todo (Kathounian, 2001). Nesse contexto, formas alternativas de controle de plantas daninhas vêm auxiliar na sustentabilidade dos sistemas de produção de alimentos, mitigando e, até mesmo, eliminando os efeitos provocados pela intervenção química, reduzindo os custos de produção, com menor impacto ambiental da cadeia produtiva.

Com o crescimento dessa consciência ecológica e a busca por alimentos mais saudáveis, aumentou o número de consumidores de produtos orgânicos no Brasil, principalmente a partir da década de 1980 (Garcia, 2003). Consequentemente, cresceu também a área de produção orgânica no Brasil, chegando a quase 750 mil hectares, sendo o Sudeste a região com maior área produtiva (333 mil hectares) (Brasil, 2016). A quantidade de agricultores que optaram pela produção orgânica passou de 6.719 para 10.194 entre 2014 e 2015, tendo a região Nordeste o maior número, seguida do Sul e do Sudeste (Brasil, 2016).

Um dos maiores entraves enfrentados pelos agricultores no momento de converter suas lavouras para o sistema orgânico é o manejo de espécies daninhas (Brighenti et al., 2007). Alguns métodos são utilizados na agricultura orgânica no sentido de evitar técnicas de controle que envolvam a intervenção química.

O uso da cobertura do solo com o intuito de reduzir a densidade de plantas daninhas é conhecido desde os impérios chinês e romano. Eram utilizadas pedras, galhos de árvores e de arbustos e folhas como cobertura dos solos no intuito de evitar a emergência e o estabelecimento das populações de plantas daninhas (Shear, 1985). Com o advento do plantio direto, a formação de palha sobre o solo é uma prática que exerce efeitos sobre a comunidade de plantas daninhas (Bortoluzzi & Eltz, 2001). Ocorrem reduções de forma substancial na infestação de plantas daninhas, principalmente as espécies anuais (Vidal et al., 1998).

Além disso, as práticas de controle manual e mecânico de plantas daninhas também foram utilizadas no passado e permanecem até os dias atuais. Porém, quando grandes áreas são cultivadas, esses métodos são pouco eficazes e de baixo rendimento.

O controle mecânico de espécies daninhas foi avaliado no sistema de semeadura direta da soja, utilizando um equipamento denominado roçadora articulada (Brighenti et al., 2007) (Figura 1).



Fotos: Alexandre Magno Brighenti

Figura 1. Roçadora articulada eliminando as plantas daninhas nas entrelinhas da cultura da soja.

Esse implemento agrícola possui seis componentes, sendo cada um composto por pequena roçadora, com três facas, que eliminam as espécies daninhas somente nas entrelinhas das culturas (Figura 2).



Fotos: Alexandre Magno Brighenti

Figura 2. Componente da roçadora articulada com acoplamento das três facas.

As espécies daninhas de folhas largas como o picão-preto (*Bidens* spp.) e o amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*), por terem os pontos de crescimento em locais capazes de serem eliminados por esse implemento, são controladas de forma eficaz, dificultando a rebrota das plantas. Contudo, as espécies de folhas estreitas como o capim-marmelada (*Brachiaria plantaginea*) e o capim-colchão (*Digitaria* spp.) são cortadas acima do ponto de crescimento das espécies, o que facilita a rebrota e o estabelecimento das populações. Assim, em situações de predominância de espécies daninhas Poáceas, a roçadora articulada não é eficaz. Por outro lado, em situações em que há predominância de espécies eudicotiledôneas, em densidades de infestação média a baixa, o equipamento realiza controle aceitável (Brighenti et al., 2007).

O controle cultural de espécies daninhas, ou seja, dar condições para que a própria planta cultivada exerça influência sobre a comunidade de espécies daninhas e sobressaia na competição, pode ser usado para auxiliar a eficiência dos métodos roçada e eletrocussão. Na cultura do milho, por exemplo, os espaçamentos entrelinhas mais empregados variam de 0,70 a 1,0 m. Porém, espaçamentos menores como 0,45 - 0,50 m têm sido empregados (Oliveira Neto et al., 2011). Nessa condição, há um fechamento mais rápido das entrelinhas, sombreando o solo e dificultando a germinação e o estabelecimento das espécies daninhas. Para esta condição, ajustes nos equipamentos de roçada e de eletrocussão para atender aos espaçamentos serão necessários. Também a opção por cultivares mais bem adaptadas, de maior arranque inicial de crescimento, maior produção de fitomassa, maior índice de área foliar, maior porte e melhor arquitetura da parte aérea, possibilita o melhor estabelecimento das plantas cultivadas em detrimento ao da população de espécies daninhas (Brighenti & Oliveira 2011).

A eletrocussão, que é a capina por meio de descarga elétrica, vem sendo pesquisada e aplicada em algumas situações no controle de plantas daninhas. Os equipamentos para capina elétrica consistem em sistemas com o objetivo de garantir que quantidade de energia elétrica suficiente para controlar uma ou mais plantas sejam por elas fisicamente consumida. O sistema baseia-se no contato direto dos eletrodos aplicadores com a planta a ser controlada.

Esta tecnologia vem sendo desenvolvida através das últimas três décadas por iniciativas privadas e em parcerias com instituições de pesquisa, culminando em uma gama de soluções, tanto de aplicadores e aplicações quanto de tecnologia eletroeletrônica (Figura 3).



Fotos: Hector Nicolucci

Figura 3. Imagens ilustrativas da evolução tecnológica dos equipamentos de eletrocussão em 1993 até 2012.

Um dos primeiros trabalhos brasileiros relevantes sobre o assunto foi “O uso de descarga elétrica no controle de plantas daninhas” (Almeida, 1988). Ainda utilizando de tecnologias que se tornaram obsoletas, com baixa eficiência e com um escopo limitado de variedades de espécies, o trabalho produzido foi pioneiro, e o equipamento de capina elétrica mostrou claramente a possibilidade de evolução para a criação de um método eficaz. Trazendo isso para a realidade da evolução da eficiência energética destes sistemas, no trabalho citado se considera quantidades de energia entre 100 e 5.000 Joules como letais para plantas. Nas atuais tecnologias, o volume caiu para uma amplitude prática de 50 a 1.000 Joules. Apesar da obsolescência tecnológica e baixa eficiência energética e de aplicação, os sistemas apresentaram bons resultados práticos.

Embora sem qualquer aplicação comercial relevante até aquele momento, a tecnologia seguiu em evolução durante os anos consecutivos. Em 1993, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) desenvolveu um novo ensaio que atualizou o status da tecnologia, demonstrando inclusive que a umidade do solo, por determinar a resistência elétrica total do sistema e o consumo de energia que é realizado pelo solo e pelas plantas, influencia a eficácia do sistema (Instituto Agrônomo de Campinas, 1993). Esta comprovação de eficácia embasa o primeiro desenvolvimento tecnológico na forma de uma pessoa jurídica de direito privado, financiado e encabeçado por Satoru Narita, que fundou a então Sayyou do Brasil.

A partir daquele momento, iniciou-se uma fase de desenvolvimento tecnológico contínuo, marcado pelo fomento de parcerias com outras empresas e institutos ligados ao desenvolvimento tecnológico agrícola.

Após anos de desenvolvimento, os esforços geraram uma nova tecnologia, a primeira que apresentava resultados consistentes com potencial realidade comercial. Essa tecnologia se diferenciava das anteriores, principalmente, por aplicar em corrente contínua ao invés de alternada trifásica, o que permitia a construção de aplicadores com apenas dois eletrodos (ao invés de três). O uso de dois eletrodos ao invés de três é extremamente relevante. No caso de aplicações trifásicas, se qualquer dos três polos fizer contato levemente com o solo ou com as plantas (contato nomeado de apropriado), a qualidade da aplicação fica extremamente comprometida. Em 2006, a Fundação Pró-Café aplicou a eletrocussão no controle de trapoeraba (*Commelina* spp.), que apresentavam resistência aos herbicidas comumente aplicados na região. A aplicação ocorreu em áreas de produção de café da Fundação localizada no município de Varginha-MG,

utilizando equipamento de 60 KVA. A eletrocussão apresentou controle de até 95% da população de plantas daninhas (Fundação Procafé, 2006).

Este trabalho foi relevante para demonstrar a não seletividade do sistema às plantas daninhas e a ausência de efeito na cultura do café. Após estes testes, foram realizados ajustes mecânicos para garantir um melhor contato entre os aplicadores e as plantas a serem controladas, em especial em casos de operação em lugares com solos irregulares ou em declive. As imagens da lavoura de café da Fazenda Juá, em Patos de Minas-MG (Figura 4), revelam área com as populações de plantas daninhas compostas por mono e dicotiledôneas antes e depois da aplicação da eletrocussão.

Antes



1º dia



6º dia



24º dia



Fotos: Hector Nicolucci

Figura 4. Lavoura de café da Fazenda Juá, Patos de Minas-MG, mostrando o efeito da eletrocussão no controle de plantas daninhas antes, e 1, 6 e 24 dias após a aplicação da eletrocussão.

As limitações das características físicas dos aplicadores daquele período reduziam o potencial de exploração comercial da tecnologia de eletrocussão (Figura 5). Mudanças aconteceram saindo do foco do desenvolvimento

eletroeletrônico para o desenvolvimento de soluções mecânicas. Este novo foco culminou no desenvolvimento de aplicadores segmentados para aplicação nas entrelinhas de soja.



Foto: Alexandre Magno Brighenti

Figura 5. Equipamento Eletroherb capaz de produzir descarga elétrica a partir da rotação da tomada de força do trator, eliminando as espécies daninhas. Barra na dianteira para dessecação pré-semeadura (A). Área não dessecada-testemunha (esquerda) e área dessecada (direita) (B).

Nesse sentido, alguns trabalhos foram conduzidos visando o controle de plantas daninhas em cultivos orgânicos de soja por meio de descarga elétrica (Brighenti & Brighenti, 2009). Verificou-se que a descarga elétrica foi eficiente no controle das plantas daninhas na cultura da soja. A rotação 2.200 rpm proporcionou o melhor controle e, conseqüentemente, a maior produtividade da cultura da soja.

A descarga elétrica, ao atingir as espécies daninhas, provoca alteração na fisiologia das plantas de forma irreversível, as quais murcham e morrem em pouco tempo. Em observações microscópicas, verificou-se que, ao ser aplicada alta voltagem sobre as plantas, a corrente flui através do caule e das raízes, causando injúrias consideráveis às células (Mizuno, 2001). E ainda que, em condições de campo, a aplicação de descarga elétrica da ordem de 170-330 W proporciona controle eficaz de espécies daninhas, principalmente as de folhas estreitas.

Esse equipamento também possui campânulas de aplicação de descarga elétrica, dispostas em uma barra, acoplada perpendicularmente à parte central do trator, de forma a facilitar o balizamento pelo operador (Figura 6).

O controle das plantas daninhas é realizado apenas nas entrelinhas das culturas (Figura 7).



Fotos: Alexandre Magno Brighenti

Figura 6. Campânulas de aplicação, dispostas em barra, acoplada perpendicularmente à parte central do trator.



Foto: Alexandre Magno Brighenti

Figura 7. Controle de plantas daninhas nas entrelinhas da soja, e a entrelinha (ao centro da figura) sem a aplicação da eletrocussão.

Nesses estudos, fixou-se as voltagens do equipamento em 4.400 e 6.800 volts variando apenas a rotação do motor do trator. O emprego de descarga elétrica foi eficiente no controle das plantas daninhas da cultura da soja. A rotação 2.200 rpm proporcionou o melhor controle (Figura 8) e, consequentemente, a maior produtividade da cultura (Tabela 1) (Brighenti & Brighenti, 2009).

Tabela 1. Percentagem de controle de plantas daninhas a 1 e 20 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT), fitomassa seca de plantas daninhas (g/0,25 m²) e produtividade da cultura da soja (kg/ha), em função dos tratamentos.

Tratamentos	Controle		Fitomassa seca	Produtividade
	1 DAT	20 DAT		
2.200 rpm	86,0 b	90,0 ab	125,8 bc	2337,8 b
2.000 rpm	86,0 b	87,5 bc	150,0 bc	1403,9 c
1.600 rpm	86,0 b	77,5 c	240,1 abc	1086,5 c
Testemunha capinada	86,0 b	100,0 a	39,4 c	2899,1 a
Testemunha sem capina	86,0 b	0,0 d	289,5 a	574,3 d

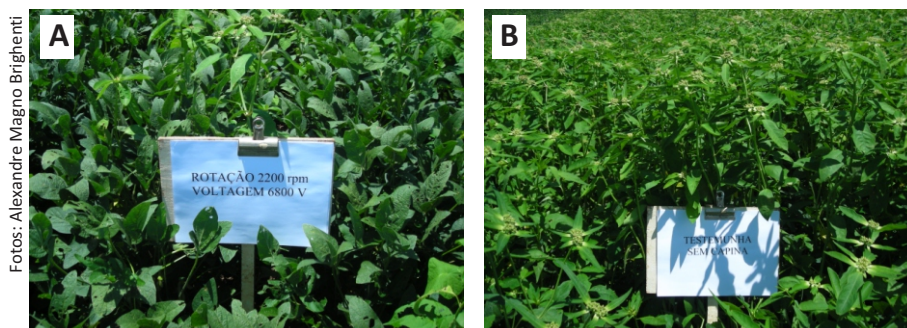


Figura 8. Controle de plantas daninhas na cultura da soja utilizando a rotação 2.200 rpm e voltagem de 6.800 volts (A) e testemunha sem capina (B).

Em função desses novos desenvolvimentos e comprovações técnicas, a tecnologia passou por um início de exploração comercial marcada pelos trabalhos técnicos e comerciais de empresas como a Gebana, que fomenta trabalhos sobre o potencial de rentabilidade dela. Esta nova realidade culminou em uma nova leva de trabalhos técnicos de cunho mais próximo do mercado, como o trabalho de “Avaliação de custos e rentabilidade entre sistemas de produção de soja” executado à revelia dos desenvolvedores das tecnologias e em parceria com instituições de pesquisa como o Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar) e consumidores desse conhecimento, como a Gebana. Essa pesquisa é relevante em especial por causa da demonstração matemática de que, apesar da tecnologia do trabalho ser hoje relativamente obsoleta, não só era possível usar o método de forma economicamente viável,

como, dentro dos parâmetros mercadológicos do momento da pesquisa, a forma de controle que mais gerava valor agregado por hectare era a de capina elétrica.

Com a combinação de comprovação tecnológica e da possibilidade real de viabilidade econômica, multiplicaram-se os esforços de desenvolvimento de novos aplicadores e aplicações nas mais diversas realidades e usos. Aplicadores de eletrocussão acoplados aos tratores para as áreas agrícola e urbana e o primeiro protótipo do equipamento manual foram desenvolvidos (Figura 9).

Citros:



Fotos: Hector Nicolucci

Eucalipto:



Cana-de-açúcar

Fotos: Hector Nicolucci



Soja



Urbano



Equipamento manual:



Fotos: Hector Nicolucci

Figura 9. Equipamentos de eletrocussão acoplados ao trator e equipamento manual.

Após o início do desenvolvimento comercial da tecnologia, novos testes com aplicadores foram realizados com empresas parceiras e clientes como o Instituto Nova e a Central Produção Floresta Legal (CPFL). Os testes executados objetivaram não só a comprovação da eficiência da eletrocussão e dos novos aplicadores, mas a comparação objetiva entre diferentes métodos de controle das plantas daninhas. Na Figura 10, estão os resultados mostrando o efeito da eletrocussão e da roçada numa linha de transmissão da CPFL, em São José do Rio Preto-SP. Observa-se o efeito da eletrocussão no controle da braquiária mais acentuado até 21 DAA.

Dia 1

Eletrocussão

Roçada



Fotos: Hector Nicolucci



Figura 10. Imagem comparativa de roçada e da eletrocussão (capina elétrica) em área urbana abaixo de linha de tensão 1 dia após aplicação (DAA), aos 11 e 21 DAA

Considerando o uso da eletrocussão no manejo de plantas e as implicações relativas à responsabilidade social, o método elétrico de capina não apresenta qualquer tipo de contaminação, seja ambiental ou humana, uma vez que não utiliza qualquer tipo de químico no processo, apenas o meio físico de eletrocussão.

Em contrapartida ao método elétrico, os herbicidas são reconhecidamente responsáveis por uma grande gama de problemas de saúde. Estes problemas podem surgir com intoxicação aguda ou crônica, tanto no consumo de produtos contaminados quanto no caso de intoxicação ocasionada no manuseio destes químicos (Carneiro et al., 2015).

Uma vez reconhecido o potencial danoso à saúde, a escala do problema fica clara se considerada a presença indevida destes químicos na alimentação, em nível alarmante, já que uma em quatro das amostras analisadas pela Anvisa possui a presença de agrotóxicos em níveis inaceitáveis para consumo humano (Figura 11).

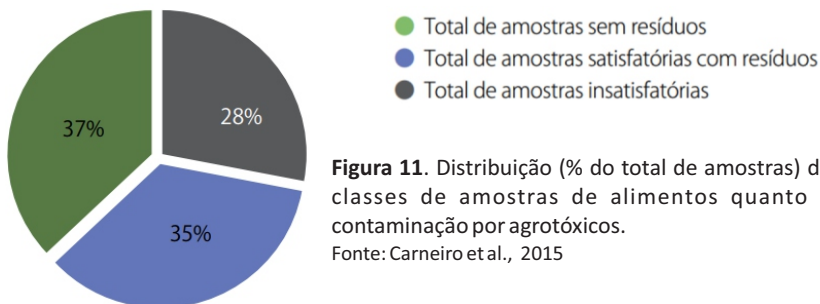


Figura 11. Distribuição (% do total de amostras) de classes de amostras de alimentos quanto a contaminação por agrotóxicos.

Fonte: Carneiro et al., 2015

Mais recentemente, buscando avaliar o controle de buva (*Conyza* spp.) em avançado estágio de crescimento em áreas no Rio Grande do Sul, a eletrocussão apresentou alta eficiência de controle (Figura 12). Possível motivo para a alta eficiência de controle pode ser a grande relação entre a estrutura foliar e a estrutura radicular.

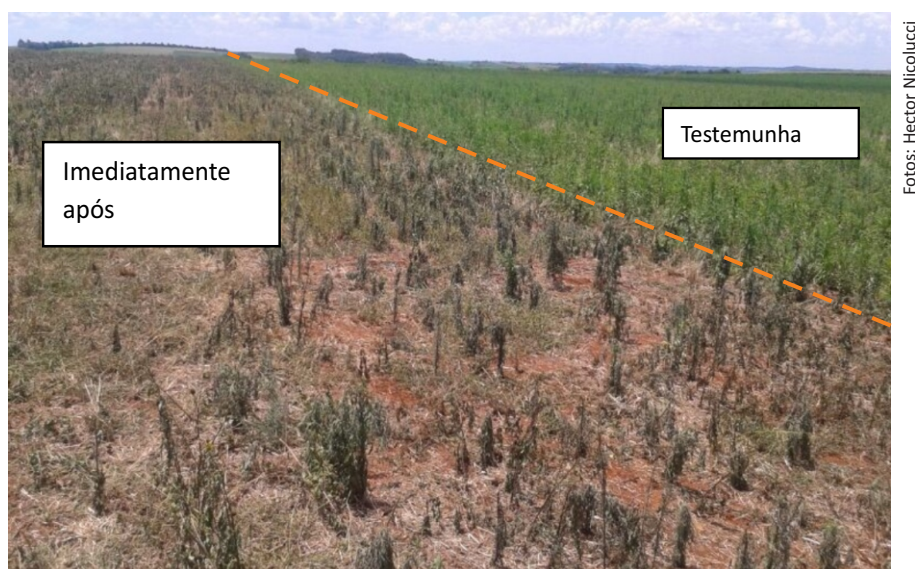


Figura 12. Controle de buva por eletrocussão em Santo Cristo-RS.

Em razão destes problemas, os países de uma maneira geral vêm buscando alternativas ao uso de herbicidas. Isto torna os meios de controle de plantas daninhas não químicos cada vez mais atrativos, inclusive para uso em áreas com populações de plantas daninhas de difícil controle ou que apresentem resistência aos herbicidas.

O efeito da aplicação desta tecnologia é imediatamente visível. Este fato tem sido melhor observado em plantas com grande estrutura foliar e estruturas radiculares relativamente pequenas.

Ao contrário dos herbicidas que em geral demonstram sintoma alguns dias após a aplicação, os sintomas por causa do uso da eletrocussão são visíveis de imediato. Esta característica do método apresenta como vantagem a possibilidade de entrada de pessoas na área em razão da ausência de contaminantes. Isto facilita a execução de outros processos no campo em menor intervalo de tempo após a capina elétrica. Por estas características da técnica, a eletrocussão pode ser utilizada com sucesso no controle de plantas daninhas em áreas urbanas (Figura 13). Em municípios onde o controle químico de plantas daninhas em vias públicas foi proibido por força de legislação municipal, o controle por meio de descarga elétrica é plenamente viável.

Fotos: Hector Nicolucci



Figura 13. Uso da eletrocussão no controle de plantas daninhas em áreas urbanas.

Considerações finais

O desenvolvimento tecnológico da eletrocussão tem sido feito principalmente por iniciativas privadas em dois países: no Reino Unido e no Brasil. Hoje este desenvolvimento estende-se a algumas partes da Europa e dos Estados Unidos.

O sucesso comercial da eletrocussão iniciou-se apenas nos anos recentes, apesar de encontrarmos referências bibliográficas e desenvolvimento tecnológicos desde década de 1950.

O início da expansão comercial se deu, principalmente, em culturas orgânicas e soluções alternativas como a capina urbana, rodoviária, ferroviária, jardinagem e outras. Mais recentemente, observamos casos em que a redução de custo e o valor agregado da tecnologia supera o uso de herbicidas, mesmo em culturas convencionais.

A tecnologia oferece vantagens relativas a outros métodos não químicos: eficácia superior à roçada, custo próximo ao da aplicação de herbicidas.

Comparativamente a outros métodos não químicos:

- Proporciona o controle potencial do sistema radicular, ao contrário de algumas formas de crio-controle, flamejador e micro-ondas e laser;
- É intrinsecamente mais energeticamente eficiente do que soluções como micro-ondas e laser, uma vez o uso de energia elétrica é direto;
- Não proporciona emissões químicas, problemas de deriva e tem risco reduzido de incêndio se comparado ao flamejador.

Sendo considerada uma tecnologia limpa, e amparada em órgãos reguladores de produção orgânica, a tecnologia já é uma opção real e viável dentro de segmentos do mercado de controle de plantas daninhas, podendo ter seu escopo aumentado, dependendo dos avanços tecnológicos futuros.

Pelas vantagens, desvantagens e características diversas próprias de diferentes métodos de capina, é possível argumentar que a disponibilidade de tecnologias variadas para o manejo de plantas daninhas será muito positiva para o mercado.

Referências

ALMEIDA, F. M. de. **O uso de descarga elétrica no controle de plantas daninhas**. 1988. 133 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 1988.

BITTENCOURT, M. V. L. Impactos da agricultura no meio-ambiente: principais tendências e desafios: parte 1. **Economia & Tecnologia**, v. 5, n. 3, p. 134-146, 2009.

BORTOLUZZI, E. C.; ELTZ, F. L. F. Manejo da palha de aveia preta sobre as plantas daninhas e o rendimento da soja em semeadura direta. **Ciência Rural**, v. 31, n. 2, p. 237-243, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Produção sustentável**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2015/03/numero-de-produtores-organicos-cresce-51porcento-em-um-ano>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

BRIGHENTI, A. M.; GAZZIERO, D. L. P.; VOLL, E.; ADEGAS, F. S. Controle de plantas daninhas em soja orgânica com uso da roçadora articulada. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 29, 2007, **Resumos...** Embrapa Soja, 2007. p. 202-204.

BRIGHENTI, A. M.; BRIGHENTI, D. M. Controle de plantas daninhas em cultivos orgânicos de soja por meio de descarga elétrica. **Ciência Rural**, v. 39, n. 8, p. 2315-2319, 2009.

BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. F. Biologia de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Omnipax, 2011. p. 1-36.

CARNEIRO, F. F.; AUGUSTO, L. G. da S.; RIGOTO, R. M.; FRIEDRICH, K.; BURIGO, A. C. (Org.). **Dossiê Abrasco**: um alerta sobre o impacto dos agrotóxicos na saúde. Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio; Expressão Popular, 2015. Disponível em: <http://www.abrasco.org.br/dossieagrototoxicos/wp-content/uploads/2013/10/DossieAbrasco_2015_web.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2018.

FUNDAÇÃO PROAFÉ. **Relatório do estudo da eficiência e condições de controle do mato em cafezal, através de sistema elétrico**. 2006.

GARCIA, A. Cenário da soja orgânica no Brasil. In: CORRÊA-FERREIRA, B. S. **Soja orgânica**: alternativas para o manejo de insetos-pragas. Embrapa Soja, 2003. 83 p.

KATHOUNIAN, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Agroecológica, 2001. 348 p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Ensaio do Eletroherb**: aparelho eliminador de ervas. 1993.

OLIVEIRA NETO, A. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; ALONSO, D. G.; RAIMONDI, M. A.; SANTOS, G.; GEMELLI, A. Modalidades de aplicação e associações de herbicidas no

controle de plantas daninhas em milho em espaçamento convencional e reduzido. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n.1, p. 81-92, 2011.

MIZUNO, A. Biological and agricultural studies on application of discharge plasma and electromagnetic fields: destruction of weeds by high voltage discharge. **Journal of Plasma and Fusion Research**, v. 75, n. 6, p. 666-671, 2001.

SHEAR, G. M. Introduction and history of limited tillage. In: WIESE, A. F. (Ed.). **Weed control in limited-tillage systems**. Weed Science Society of America, 1985. p. I-I4.

VIDAL, R. A.; THEISEN, G.; FLECK, N. G.; BAUMAN, T. T. Palha no sistema de semeadura direta reduz a infestação de gramíneas anuais e aumenta a produtividade da soja. **Ciência Rural**, v. 28, n. 3, p. 373-377, 1998.

Literatura Recomendada

DIPROSE, M. F.; FLETCHER, R.; LONGDEN, P. C.; CHAMPION, M. F. Use of electricity to control bolters in sugar beet (*Beta vulgaris* L.): a comparison of the electrothermal with chemical and mechanical cutting methods. **Weed Research**, v. 25, n. 1, p. 53-60, 1985.

Plantas de cobertura no manejo de plantas daninhas

Francisco Skora Neto

Introdução

As espécies vegetais utilizadas como plantas de cobertura são também denominadas adubos verdes. A prática de utilizá-las como adubo verde é milenar e o objetivo principal sempre foi a melhoria nas condições químicas, físicas e biológicas dos solos. Além disso, visava alterar sequência de cultivos com o objetivo de redução de pragas e doenças nas safras seguintes. O comum era incorporar as plantas ao solo na fase de florescimento para obtenção dos benefícios da prática. Os adubos verdes eram principalmente leguminosas para adição de nitrogênio no sistema.

No Brasil, a partir dos anos 1970/1980, em razão da mudança na forma de semeadura das culturas, por causa do desenvolvimento do sistema plantio direto, o uso das espécies vegetais como adubos verdes passa a ter, além da abordagem tradicional, um novo enfoque: a utilização delas como plantas de cobertura. A vantagem agora, além das antes enumeradas, é a proteção do solo contra erosão. A necessidade de resíduos na superfície do solo alterou o enfoque nas espécies para uso como plantas de cobertura, de forma que plantas com alta produção de matéria seca e de decomposição mais lenta foram privilegiadas.

Com a permanência de cobertura morta na superfície do solo verificaram-se outras vantagens: maior retenção de umidade e menor variação da temperatura do solo pelo efeito isolante dos resíduos, maior atividade biológica, etc. (Iapar, 1981). Estudos demonstraram, também, que o sistema plantio direto, além de alterar a dinâmica populacional de pragas e doenças, influenciava a dinâmica populacional das plantas daninhas. Almeida (1991) indicou a possibilidade de redução do uso de herbicidas por causa da menor emergência de plantas daninhas pelo efeito da cobertura morta e não revolvimento do solo.

Uma iminente agricultura com elevada sustentabilidade estava sendo construída.

No entanto, negligenciou-se a rotação de culturas, e a permanência de resíduos na superfície do solo foi prejudicada. O aspecto positivo relativo à fertilidade do solo e ao manejo de pragas, doenças e plantas daninhas, embora

existindo, ficou em um segundo plano. Com o uso de fertilizantes e produtos químicos (inseticidas, fungicidas e herbicidas), o efeito era mais imediato e de maior praticidade. Em nome de “maior eficiência” retiraram-se as práticas mecânicas de controle de erosão e de escoamento de água, retornam-se aos problemas de perda de solo e água, e perde-se assim a principal vantagem do sistema.

Por fim, surgiram casos de resistência de plantas daninhas a herbicidas, inicialmente aos usados nas culturas (inibidores de ALS, inibidores de ACCase) e, posteriormente, ao glifosato, ameaçando a sustentabilidade do plantio direto.

Diante dessas imperfeições, começou-se a ressaltar a importância de observar os princípios do sistema plantio direto (Casão júnior et al., 2006) e dentre estes o uso de plantas de cobertura para diversificação dos sistemas de rotação, agora com ênfase também no efeito sobre plantas daninhas.

Plantas de cobertura e seu efeito sobre plantas daninhas

O efeito de plantas de cobertura sobre plantas daninhas pode ocorrer em duas formas: como **cobertura viva** ou seus resíduos formando uma **cobertura morta** (este item está abordado em outro capítulo).

Espaço biológico

Coberturas vivas crescendo vigorosamente são reconhecidas como supressoras de crescimento de plantas daninhas. Há um dito popular entre os agricultores que diz “o melhor herbicida é a própria cultura”, o qual exprime o efeito de plantas crescendo vigorosas na inibição das plantas daninhas.

Para entender melhor o efeito supressivo das plantas nos remetemos aos estudos de Ross e Harper (1972), sobre a noção da captura do 'espaço biológico' de onde as plantas retiram os recursos (água, nutrientes, luz) para seu desenvolvimento. Esses autores demonstraram que as plantas que primeiro se estabelecem ocupam mais rapidamente o seu espaço biológico e suprimem o desenvolvimento das demais, e verificaram que plantas emergindo posteriormente ainda conseguem adquirir espaço biológico, se houver disponibilidade de espaço ainda não ocupado pelas pioneiras.

Desta forma, plantas de coberturas serão mais eficientes na supressão das plantas daninhas se germinarem primeiro, e em densidade para ocupar os espaços biológicos o mais rapidamente possível.

A ocupação do espaço em uma área cultivada, além do rápido

crescimento, também é função da distribuição o mais uniforme possível. Portanto, a densidade de semeadura é um fator importante a ser considerado para não permitir disponibilidade de espaço para outras plantas. A resposta das plantas à densidade é baseada na “**Produção Final Constante**”, a qual estabelece que a biomassa total inicialmente aumenta em proporção à densidade de plantas, atinge um patamar máximo e permanece constante com aumento da densidade (Figura 1a); por outro lado, a biomassa por indivíduo permanece constante nas menores densidades e diminui à medida que a densidade populacional aumenta (Figura 1b). A partir de certo ponto, dependendo da disponibilidade de recursos, ocorre a autorregulação populacional, com mortalidade de indivíduos.

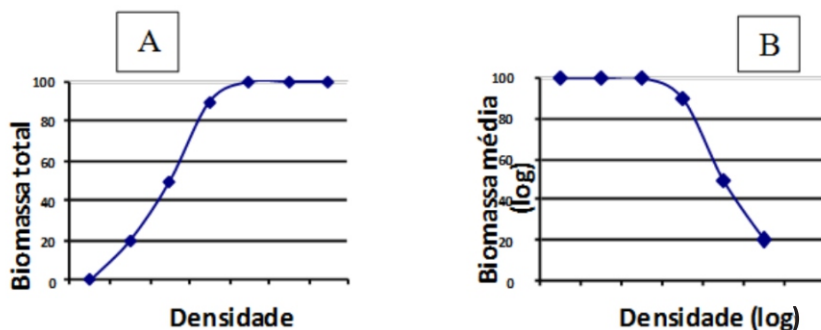
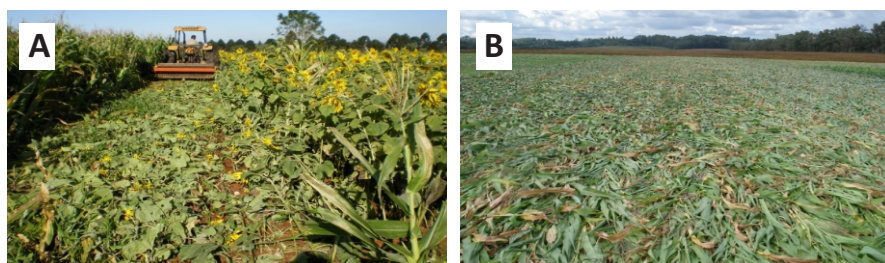


Figura 1. A) Biomassa total produzida x densidade populacional; B) Biomassa média individual x densidade populacional (Weiner; Freckleton, 2010).

Weiner e Freckleton (2010) discutem mais profundamente esta relação populacional, mas no caso de plantas de cobertura o que se deseja é estabelecer uma densidade populacional que proporcione rápida ocupação do espaço biológico e máxima produção de biomassa nas condições do meio. É o que demonstram Fernandes et al. (1999) em estudo com várias leguminosas e Gimenes et al. (2011) com estudo de *Brachiaria ruziziensis* intercalada com milho; nas maiores densidades houve maior inibição das plantas daninhas. Como é difícil estabelecer qual a população ideal, pois é dependente dos recursos disponíveis no ambiente, assume-se uma densidade baseada em experiência local, que seja alta o suficiente para rápida ocupação de espaço, mas com uma competição interespecífica não muito forte, pois resultaria em elevada mortalidade de indivíduos. A densidade populacional tem uma implicação prática/econômica, ou seja, alta população requer maior

quantidade de sementes e consequentemente maior custo. Entretanto, objetivar reduzir custo diminuindo a quantidade de sementes pode levar a uma situação de densidade de plantas abaixo do nível necessário para se obter o benefício da prática na supressão de plantas daninhas.

Exemplificando: girassol (*Helianthus annuus* L.) e milho (*Zea mays* L.) são espécies usualmente cultivadas para produção de grãos; todavia, podem ser usadas como plantas de cobertura. Para grãos, usa-se população de 40 a 45.000 plantas/ha em espaçamento de 50 cm a 90 cm entrelinhas para girassol e população de 50 a 70.000 plantas/ha em espaçamento de 90 cm para milho visando máxima produção de grão. Neste caso, a densidade de plantas e o espaçamento permitem o desenvolvimento de plantas infestantes que se não controladas afetam o rendimento. Como plantas de cobertura, utiliza-se população ao redor de 250 a 300.000 plantas/ha em espaçamento de 17 a 20 cm. Nesta condição, tanto o girassol como o milho são altamente competitivos com plantas daninhas, com rápida cobertura do solo e alta produção de biomassa em curto período de tempo (60-70 dias) (Figura 2).



Fotos: Francisco Skora Neto

Figura 2. Cobertura do solo com milho e girassol adensados (A); cobertura de milho adensado rolado (B).

Quando as coberturas não são formadas por uma única espécie, mas por duas ou mais, o arranjo populacional de plantas fica um pouco mais complicado. Como existe diferença entre as espécies quanto à velocidade de crescimento e ao uso dos recursos do solo, pode haver supressão de algumas. Novamente, como são muitas as variáveis, será a experiência que determinará qual será a proporção de cada espécie na mistura, em função das condições nutricionais e climáticas do ambiente. Entretanto, para espécies com taxas de crescimento e exigências nutricionais similares ajusta-se a proporção de sementes de acordo com a espécie da qual se deseja a predominância.

Impacto das plantas de cobertura nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas daninhas

O impacto das plantas de coberturas nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas daninhas é regulado por diferentes mecanismos. Teasdale et al. (2007) relacionam o impacto potencial de culturas de cobertura na inibição de plantas daninhas nos diferentes estádios (Tabela 1).

Tabela 1. Impacto potencial de plantas de coberturas nas plantas daninhas .

Estádio de desenvolvimento	Impacto
Germinação	Alto
Emergência/estabelecimento	Alto
Crescimento	Alto
Produção de sementes	Moderado
Sobrevivência das sementes no solo	Moderado
Sobrevivência de estruturas perenes	Baixo/Moderado

Germinação

A quantidade e a qualidade da luz que chega à superfície do solo, após passar pela cobertura foliar, influenciam a germinação de algumas espécies de plantas daninhas (Cardina, 1995). As sementes de algumas espécies respondem à presença de luz (fotoblásticas positivas) para iniciar o processo de germinação; outras são afetadas pela qualidade da luz. A luz solar filtrada através da copa das plantas previne a germinação de algumas sementes que são estimuladas pela luz na região do vermelho (Baskin & Baskin, 1998). As plantas absorvem a luz vermelha e reduzem a proporção de luz vermelha: vermelha-extremo que atinge o solo inibindo a germinação de sementes de algumas espécies de plantas daninhas (Teasdale & Daughtry, 1993). Promoção e inibição da germinação de sementes sensíveis à luz são controladas por um grupo de fotorreceptores (fitocromos). Estes podem alterar sua configuração entre duas formas: Pfr – a forma ativa e Pr – a forma inativa. A luz vermelha (660 nm) altera a forma Pr para Pfr iniciando o processo de germinação por

meio de receptores específicos que desencadearão os processos metabólicos no interior da semente (Jones et al., 2013). Ao contrário, na presença de luz vermelha-extremo (730 nm), o fitocromo assume a forma Pr (Peckrun et al., 2003). Portanto, a inibição da germinação de sementes de plantas daninhas pode ser em razão tanto da mudança na qualidade da luz quanto da redução da quantidade de luz que atinge o solo.

Emergência e estabelecimento

As plantas de cobertura competem com as plantas daninhas que emergem pelos recursos do ambiente. O montante do recurso capturado pelas plantas é função da sua disponibilidade no meio e da eficiência do vegetal na busca do recurso. No início do crescimento das plantas, a maior concorrência se dá por água (se limitante), em seguida também por nutrientes, e quando mais desenvolvidas também pela radiação solar. A intensidade de competição entre raízes das plantas daninhas e da cultura pelos recursos existentes abaixo da superfície do solo depende do tipo e da disponibilidade dos recursos, da espécie vegetal e de sua capacidade em desenvolver sistema radical extenso, com diâmetro reduzido e área superficial ampla (Rizzardi et al., 2001). Portanto, a rápida ocupação do espaço biológico abaixo do solo é essencial na eficiência da capacidade competitiva da planta de cobertura com as plantas daninhas. A competição por luz acontece quando as plantas começam a sobrepor a parte aérea; mecanismos de regulação, também mediados por fotorreceptores (fitocromos), procuram ajustar o crescimento da planta para maior captação de luz. Este mecanismo de adaptação inclui a alteração na alocação dos fotoassimilados, reduzindo o crescimento radicular (o que influencia na capacidade de competição por água e nutrientes) e alocando mais recursos para aceleração do crescimento em altura afetando a constituição morfofisiológica da parte aérea (Craine, 2005) (ao mesmo tempo, com a redução na intensidade luminosa, são alterados alguns constituintes da cutícula foliar, o que implica maior absorção/suscetibilidade da planta a herbicidas) (Santos Júnior et al., 2013). Além destes fatores há que se destacar a presença/liberação de substâncias secundárias (aleloquímicos) que afetam o desenvolvimento de outras plantas. Embora ainda não esteja suficientemente esclarecida a magnitude do efeito de substâncias alelopáticas, seu efeito é observado no campo e várias substâncias foram identificadas provocando efeito sobre a germinação e crescimento das plantas.

Crescimento

Os efeitos que as plantas de cobertura exercem nas fases de emergência e estabelecimento de plantas daninhas são os mesmos que exercem na fase de crescimento. O sucesso de uma espécie de planta daninha em se estabelecer e se desenvolver em uma área com plantas de coberturas dependerá de sua agressividade e densidade populacional. À semelhança do que se recomenda para plantas de cobertura, no que se refere à densidade, se as plantas daninhas ocorrerem em alta população (elevado banco de sementes) e apresentarem vigoroso crescimento, elas poderão estar presentes mesmo sofrendo competição pelas plantas de cobertura.

Produção de sementes

O efeito das plantas de cobertura é considerado moderado quando há presença de alguma espécie de planta daninha na área de produção. Embora o desenvolvimento da planta daninha possa ser afetado pelas plantas de cobertura, ela ainda pode produzir sementes. Para que isto não ocorra são necessárias estratégias que impeçam a frutificação da planta daninha, como a formação de cobertura morta antes da frutificação dessas plantas, ou escolher plantas de cobertura sobre as quais seja possível utilizar algum produto para o controle das plantas daninhas (Figura 3).

Foto: Francisco Skora Neto



Figura 3. Uso de leguminosas (ervilhaca-peluda + tremço-branco) em área infestada de azevém. Este pode ser controlado com herbicidas seletivos às plantas de cobertura utilizadas.

Sobrevivência de sementes no solo

A manutenção de cobertura do solo com plantas vivas pode favorecer a presença de predadores (artrópodes, fungos, e bactérias, entre outros organismos) que têm papel importante na mortalidade de sementes de plantas daninhas. Entretanto, a contribuição que plantas de cobertura podem trazer na redução do banco de sementes não é muito clara, visto que este efeito pode variar em função do manejo a que são submetidas (Davis et al., 2006). A questão da sobrevivência de sementes no solo pode ser mais bem notada se considerar-se o efeito das plantas de cobertura sobre o não reabastecimento do banco de semente de plantas daninhas no solo. Voll et al. (2005) e Skora Neto (2001) observaram redução exponencial no número de sementes no solo com diminuição média de 32% e 50% ao ano, respectivamente; grande percentual desta redução pode ser atribuído à mortalidade de sementes, segundo Davis et al. (2006) e Hill et al. (2014), estudando a influência de formas de manejo agrícola dos solos, que observaram a importância da mortalidade no declínio do banco de sementes. Declínio semelhante foi observado quando se avaliaram plantas de cobertura em substituição à área em pousio; o efeito da dessecação das plantas presentes antes da semeadura das plantas de cobertura, somado à supressão do desenvolvimento das plantas daninhas pelas plantas de coberturas, promoveu também redução exponencial no banco de sementes (Figura 4) (Skora Neto; Campos, 2004).

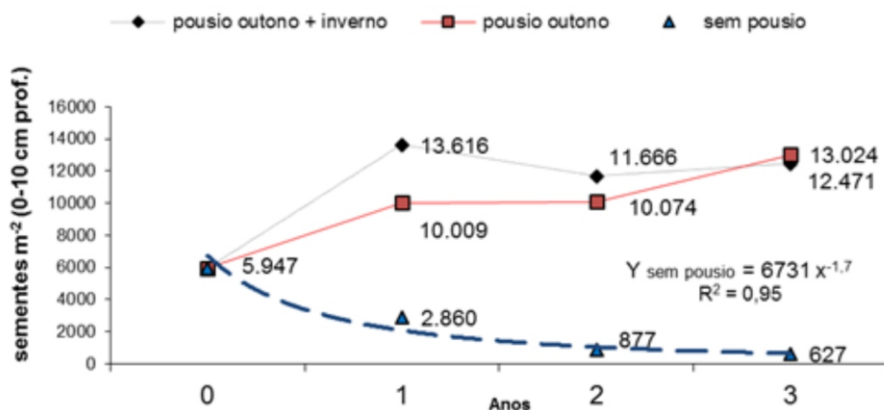


Figura 4. Banco de sementes de plantas daninhas em áreas com pousio e sem pousio (Skora Neto; Campos, 2004).

Sobrevivência de estruturas perenes

Plantas daninhas perenes são, de acordo com Teasdale et al. (2007), frequentemente melhores competidoras e mais difíceis de controlar com plantas de cobertura que plantas daninhas anuais porque apresentam grandes reservas nutricionais e rápido estabelecimento. Estes mesmos autores, no entanto, citam várias experiências de supressão de plantas perenes com plantas de cobertura. Taimo et al. (2005) obtiveram, na África, redução de até 90% na diminuição de infestação de sapé (*Imperata cylindrica* (L.) Rauesch), grama-seda (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) e ciperáceas (*Cyperus* spp.) com mucuna-preta e cinza (*Mucuna pruriens* var. *utilis* (Wall. ex Wight) L.H. Bailey), crotalária-juncea (*Crotalaria juncea* L.) e feijão-bravo (*Canavalia brasiliensis* Benth.). Neste caso, plantas de cobertura de ciclo longo possivelmente abafaram as ervas por longo período de tempo esgotando as reservas nutricionais das infestantes. Plantas de cobertura de ciclo curto, sejam utilizadas para formação de cobertura morta ou para fechar curtos intervalos (janelas) entre cultivos, podem não ser tão eficientes isoladamente (Figura 5), mas proporcionam bom resultado se combinadas com o uso de herbicidas. Foi o que observaram Skora Neto e Campos (2004) com redução da infestação de tiririca (*Cyperus rotundus* L.) nas áreas com dessecação e imediato plantio de plantas de cobertura (Figura 6). Ao contrário, houve aumento da população dessa espécie, na área em pousio.

Foto: Francisco Skora Neto



Figura 5. Presença de buva (*Conyza canadensis*) e maria-mole (*Senecio brasiliensis*) em área com cobertura de aveia; área SEM dessecação antes da semeadura da aveia.

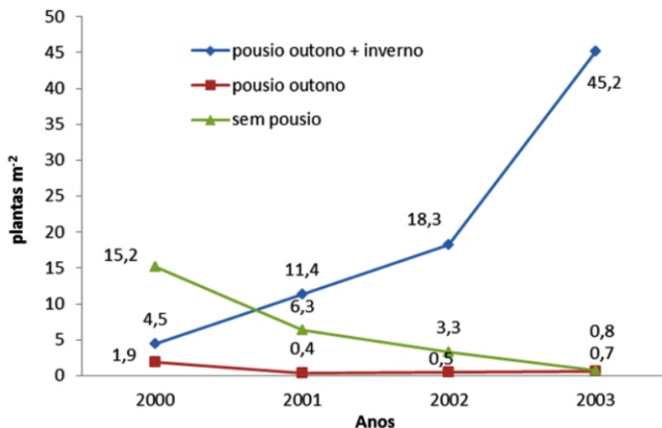


Figura 6. Densidade populacional de tiririca (*Cyperus rotundus* L.) em áreas com diferentes períodos sem plantas de cobertura.

Principais sistemas de uso das plantas de cobertura

O sucesso no uso dessas espécies está relacionado ao sistema de produção da região/produtor, condições climáticas e características das plantas de cobertura. Lima Filho et al. (2014) descrevem mais detalhadamente as espécies e sistemas de uso das plantas de cobertura.

Culturas perenes – Pomares (citros, café, maçã, entre outras).

Plantas de coberturas perenes

clima quente: soja perene – *Glycine wrightii* Lopes, amendoim-forrageiro – *Arachys pintoi* Krapov. & W.C. Greg, calopogônio – *Calopogonium mucunoides* Desv., braquiárias (*Brachiaria* spp.), e outras.

clima frio: trevos perenes (*Trifolium* spp.), festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.).

Estas espécies são plantadas (isoladamente ou em consorciação) nas entrelinhas da cultura e permanecem formando uma cobertura viva permanente. Estas espécies podem ou não ser roçadas por meio de roçadeira lateral (roçadeira ecológica) (Figura 7), que joga os resíduos na linha das árvores para formar uma cobertura morta e auxiliar o controle das plantas

daninhas na linha (Matheis et al., 2006; Martinelli et al., 2013); nestes casos, embora haja relutância para adubação fora da área de abrangência das plantas cultivadas, é recomendável fertilizar também a área da entrelinha (onde estão as plantas de cobertura) para manter a fertilidade e a produção de biomassa evitando dar oportunidade para espécies indesejáveis.



Foto: Francisco Skora Neto

Figura 7. Roçadeira lateral, que joga o material roçado para a linha das plantas formando cobertura morta.

Plantas de cobertura anuais

clima quente (verão) – principais espécies: Crotalárias (*Crotalaria* spp.), lablab (*Dolichos lablab* L.), mucunas (*Mucuna* spp.), e outras.

clima frio (inverno) – principais espécies: aveia (*Avena* spp.), centeio (*Secale cereale* L.), azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.), ervilhacas (*Vicia* spp.), e outras.

Da mesma forma que as perenes, podem ser roçadas para formação de cobertura morta na linha das árvores; a desvantagem deste sistema é que podem necessitar semeaduras anuais, se a ressemeadura natural não for eficiente.

Culturas anuais

Semeadura de plantas para cobertura durante um longo período do ano, utilizando espécies anuais de verão ou inverno de ciclo longo, individuais ou em consórcios (coquetel).

Clima quente (verão): principais espécies: mucunas preta e cinza (*Mucuna pruriens* var. *utilis* (Wall. ex Wight) L.H. Bailey), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), crotalárias (*Crotalaria* spp.), feijão-deporco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.), feijão-bravo (*C. brasiliensis* Benth.), calopogônio (*Calopogonium mucunoides* Desv.), entre outras.

São somente utilizadas quando o agricultor disponibiliza uma área para este fim; prática normalmente pouco utilizada, pois compete por área com culturas de renda.

Clima frio (inverno): principais espécies: variedades de aveia de ciclo longo (*Avena* spp.), azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), ervilhacas (*Vicia* spp.), tremoços (*Lupinus* spp.), ervilha-forrageira (*Pisum sativum* L.), entre outras.

Espécies mais utilizadas na região Sul do Brasil como coberturas de inverno, quando não há cultivo de renda. Prática comum para formação de coberturas mortas para as culturas de renda que serão semeadas no verão. Os resultados obtidos por Gazziero et al. (2010), Peruzzo et al. (2012) e Constantin et al. (2013) ilustram bem a ação de plantas de cobertura na redução de infestação, mais especificamente em buva (*Conyza* spp.). Gazziero et al. (2010) verificaram redução, não só no número de plantas, mas também no tamanho das plantas de buva presentes em área com cobertura de aveia, ao compará-la com área de milho safrinha, onde há um período de pousio entre a colheita do milho e a semeadura da próxima cultura. Na ausência de cobertura, outras espécies podem se desenvolver na área. Skora Neto e Campos (2004) verificaram no pousio de outono + inverno, além de buva, maria-mole (*Senecio brasiliensis*) e capim-da-roça (*Paspalum urvillei*), espécies não presentes na área com plantas de cobertura (Tabela 2).

Tabela 2. Cobertura do solo (%) por plantas daninhas antes da semeadura da cultura de verão.

Porcentagem de cobertura (%)												
	Total ervas	Pinheirinho	Maria-mole	Orelha-de-urso	Serralha	Tançagem	Guanxuma	Macela	Buva	Nabo	Linhito	Capim-da-roça
pousio outono+inverno	30,4	2,5	0,9	2,5	2,5	2,3	9,3	2,3	1,2	0,6	5,8	1,0
pousio outono	5,4	0,6	0,0	0,0	0,7	0,3	0,5	0,4	0,0	0,0	2,8	0,0
sem pousio	5,0	0,8	0,0	0,0	0,4	1,2	0,0	0,6	0,0	0,0	1,5	0,0

Pinheirinho: *Veronica peregrina* L.; Maria-mole: *Senecio brasiliensis* Less.; Orelha-de-urso: *Stachys arvensis* L.; Serralha: *Sonchus oleraceus* L.; Tançagem: *Plantago tomentosa* Lam.; Guanxuma: *Sida rhombifolia* L.; Macela: *Gnaphalium spicatum* Lam.; Buva: *Conyza canadensis* (L.) Cronq.; Nabo: *Raphanus raphanistrum* L.; Linhito: *Wahlebergia linarioides* (Lam.) A. DC.; Capim-da-roça: *Paspalum urvillei* Steud.

Intervalos de curta duração (janelas) entre culturas anuais

Plantio de plantas de cobertura de crescimento rápido para fechamento de intervalos curtos entre culturas de renda (Figura 8).

Clima quente (verão): crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.), milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench.), girassol (*Helianthus annuus* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.), entre outras.

Clima frio (inverno): nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.), centeio (*Secale cereale* L.), aveia variedades de ciclo curto (*Avena* spp.).

Kliwer et al. (2003) demonstraram até a possibilidade de eliminação do uso de herbicidas usando a estratégia de plantas de cobertura de ciclo curto e de rápido crescimento durante o intervalo entre culturas.

**Figura 8.** *Crotalaria juncea* e milheto para ocupação de curtos períodos de pousio.

Intercalação com culturas anuais

Plantas de coberturas são plantadas consorciadas durante todo ou parte do ciclo das culturas anuais. Recentemente é uma prática mais comum com a cultura do milho no consórcio com braquiária (*Brachiaria ruziziensis* Germ. & C.M. Evrard) (Ceccon et al., 2008), mas também possível com guandu, feijão-de-porco, feijão-bravo, *Crotalaria breviflora* DC., *Crotalaria pallida* Aiton, aveia-preta variedade ciclo longo (na safrinha); intercalação com outras culturas, como o arroz (consórcio com calopogônio), girassol (consórcio com braquiária, guandu, e crotalárias) (Bortolini, 2008), e sobressemeadura em soja (Pacheco et al., 2008; de Maria et al., 2012) também é possível. O plantio das plantas de cobertura pode ser simultâneo com a cultura ou retardado de algumas semanas. Dependendo da espécie consorciada e de condições do meio, o plantio simultâneo pode acarretar perdas no rendimento da cultura. A prática é pouco utilizada pelos agricultores, pois apresenta alguns problemas de manejo principalmente para o controle de plantas daninhas. Skora Neto (1993) verificou que o efeito das plantas de cobertura em consórcio sobre as plantas daninhas ocorre no final do ciclo e após a colheita da cultura comercial. No consórcio, a espécie de cobertura deve ter ciclo longo, pois no início sofre intensa competição e, quando a cultura começa a completar seu ciclo, a planta de cobertura irá se desenvolver e formar suficiente massa para suprimir as plantas daninhas. Durante o início há o problema do controle das infestantes; o herbicida a ser utilizado deve ter certa seletividade à espécie consorciada, em sistemas convencionais.

Manejo das plantas de cobertura

Para formação de cobertura morta, as plantas de cobertura são manejadas com herbicidas, por método mecânico (rolo-faca, roçadeira ou triturador) ou a associação dos dois métodos. O importante é manejar as plantas de cobertura antes que produzam sementes, pois estas podem germinar, e as plantas se estabelecerem como infestantes na cultura seguinte. Além disso, algumas espécies são mais difíceis de serem controladas mecanicamente, exigindo o uso de herbicidas (exemplo: braquiária, azevém, sorgo).

Manejo para sistemas orgânicos

Para formação de cobertura morta em sistemas orgânicos, devem ser selecionadas espécies para as quais seja possível o controle mecânico (rolo-faca, roçadeira ou triturador).

Aveias, centeio, e triticale são controlados com rolo-faca na fase de grão leitoso; antes deste período, pode ocorrer intensa rebrota; estas espécies, a partir do florescimento são bem controladas com triturador.

Crotalária juncea, mucuna, lab-lab, tremoço, girassol e milho são bem controlados com rolo-faca a partir do florescimento. Antes do florescimento o controle pode ser feito com triturador.

Ervilhacas e ervilha-forrageira são bem controladas com o rolo-faca na fase de início de formação de grãos quando em consórcio com outras plantas (exemplo: aveia), pois adquirem porte mais ereto, porém, são mais difíceis de controlar quando crescem isoladas, pelo hábito mais rasteiro; o nabo-forrageiro pode apresentar plantas com diferentes estádios de desenvolvimento, o que dificulta seu controle com rolo-faca. Nestes casos, o manejo com triturador é uma alternativa (Figura 9).



Figura 9. Manejo de ervilhaca-peluda (*Vicia villosa* Roth) com triturador (A) e cobertura formada dez dias após (B).

Referências

ALMEIDA, F. S. de. **Controle de plantas daninhas em plantio direto**. Iapar, 1991. 34 p. (Iapar. Circular, 67).

BASKIN C. C.; BASKIN, J. M. **Seeds**: ecological, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press, 1998. 666 p.

BORTOLINI, C. G. Girassol: sistemas de produção no Mato Grosso. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIAS PARA A SEGUNDA SAFRA, 2008. **Palestras...** CETEF: Fundação Rio Verde, 2008.

CARDINA, J. Biological weed management. In: SMITH, A. E. (Ed.). **Handbook of weed management systems**. Marcel Dekker, 1995. p. 279-342.

CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. **Sistema plantio direto com qualidade**. Iapar; ITAIPU Binacional, 2006.

CECCON, G.; SACOMAN, A.; MATOSO, A. de O.; NUNES, A. P.; INOCÊNCIO, M. F. **Consórcio de milho safrinha com brachiaria ruziziensis em lavouras comerciais de agricultores, em 2008**. Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 29 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 48).

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; OLIVEIRA NETO, A. M. (Ed.). **Buva: fundamentos e recomendações para manejo**. Omnipax, 2013. 104 p.

CRAINE, J. M. Reconciling plant strategy theories of Grime and Tilman. **Journal of Ecology**, v. 93, p. 1041-1052, 2005.

DAVIS, A. S.; ANDERSON, K. I.; HALLET, S. G.; RENNER, K. A. Weed seed mortality in soils with contrasting agricultural management histories. **Weed Science**, v. 54, p. 291-297, 2006.

DE MARIA, I. C.; DI TROCCHIO, M. F.; PIEDADE, R. C. **Sobressemeadura de braquiária em soja para produção de palha em sistema plantio direto na região do médio Paranapanema, SP**. Instituto Agrônômico, 2012. 12 p. (Série Pesquisa APTA, Boletim Científico IAC, 17).

FERNANDES, M. F.; BARRETO, A. C.; EMÍDIO FILHO, J. Fitomassa de adubos verdes e controle de plantas daninhas em diferentes densidades populacionais de leguminosas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 9, p. 1593-1600, 1999.

GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; VOLL, E.; VARGAS, L.; FORNAROLLI, D.; KARAM, D.; CERDEIRA, A. L.; MATALLO, M. B.; OSIPE, R.; ZOIA, L.; SPENGLER, A. N. Manejo de buva em áreas cultivadas com milho safrinha e aveia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, **Resumos...** FUNEP, 2010. p. 1564-1569.

GIMENES, M. J.; DAL POGETTO M. H. F. A.; PRADO, E. P.; CHRISTOVAM, R. S.; COSTA, S. I. A.; SOUZA, E. F. C. Interferência de *Brachiaria ruziziensis* sobre plantas daninhas em sistema de consórcio com milho **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 3, p. 931-938, 2011.

HILL, E. C.; RENNER, K. A.; SPRAGUE, C. L. Impact of cereal rye and red clover on weed seed mortality. In: ANNUAL MEETING WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 2014, **Proceedings...** [s.n.], 2014.

Iapar. **Plantio direto no Estado do Paraná**. 1981. 244 p. (Iapar. Circular, 23).

JONES, R.; OUGHAM, H.; THOMAS, H.; WAALAND, S. **The molecular life of plants**. John Wiley & Sons, 2013.

KLIEWER, I. Alternativas de controle de plantas daninhas sem herbicidas. In: WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, 2., 2003. **Producing in harmony with nature: extended summary...** Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2003. p. 107-110.

LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**: fundamentos e prática. Embrapa, 2014. v. 1, 507 p.

MARTINELLI, R.; AZEVEDO, F. A.; MONQUERO, P. A.; ZAVARIZI, L. Braquiárias, roçadeiras e herbicida no manejo de plantas daninhas em citros. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 7., 2013, **Anais...** ITAL, 2013. 1 CD ROM.

MATHEIS, H. A. S. M.; AZEVEDO, F. A.; VICTÓRIA FILHO, R. Adubação verde no manejo de plantas daninhas na cultura de citros. **Laranja**, SP, v. 27, n. 1, p. 101-110, 2006.

PACHECO, F. R. P.; MONTEIRO, F. P.; PROCÓPIO, S. O.; ASSIS, R. L. de; CARMO, M. L.; PETTER, F. A. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 7, p. 815-823, 2008.

PECKRUN, C.; EL TITI, A.; CLAUPEIN, W. Implications of soil tillage for crop and weed seeds. In: EL TITI, A. (Ed.). **Soil tillage in agroecosystems**. CRC Press, 2003. p. 115-147.

PERUZZO, S. T.; LAMEGO, F. P.; PAGLIARINI, I. B.; CUTTI, L.; BASSO, C. J.; SANTI, A. L. Coberturas de inverno para o manejo de buva resistente ao herbicida glyphosate no RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 28., 2012, **A ciência das plantas daninhas na era da biotecnologia**: anais. SBCPD, 2012. 1 CD-ROM.

RIZZARDI, M. A.; FLECK, N. G.; VIDAL, R. A.; MEROTTO, A.; AGOSTINETTO, D. Competição por recursos do solo e entre ervas daninhas e culturas. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, p. 707-714, 2001.

ROSS, M. A.; HARPER, J. L. Occupation of biological space during seedling establishment. **Journal of Ecology**, v. 60, n. 1, p. 77-88, 1972.

SANTOS JÚNIOR, A.; TUFFI SANTOS, L. D.; COSTA, G. A.; BARBOSA, E. A.; LEITE, G. L. D.; MACHADO, V. D.; CRUZ, L. R. Manejo de tiririca e trapoeraba com glyphosate em ambientes sombreados. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 213-221, 2013.

SKORA NETO, F. Controle de plantas daninhas através de coberturas verdes consorciadas com milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 10, p. 1165-1171, 1993.

SKORA NETO, F. Efeito da prevenção de produção de sementes pelas plantas daninhas e da aplicação de herbicida em jato dirigido na densidade de infestação na cultura do milho em anos sucessivos. **Planta Daninha**, v. 19, n. 1, p. 1-10, 2001.

SKORA NETO, F.; CAMPOS, A. C. Alteração populacional da flora infestante pelo manejo pós-colheita e ocupação de curtos períodos de pousio com coberturas verdes. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas**, v. 10, p. 135, 2004. Suplemento.

TAIMO, J. P. C.; CALEGARI, A.; SCHUG, M. Conservation agriculture approach for poverty reduction and food security in Sofala Province. In: WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, 3., 2005, Nairobi. **Linking production, livelihoods and conservation: proceedings...** African Conservation Tillage Network, 2005.

TEASDALE, J. R.; BRANDSÆTER, L. O.; CALEGARI, A.; SKORA NETO, F. Cover crops and weed management. In: UPADHYAYA, M. K.; BLACKSHAW, R. E. **Non-chemical weed management**. CAB International, 2007. p. 49-64.

TEASDALE, J. R.; DAUGHTRY, C. S. T. Weed suppression by live and desiccated hairy vetch. **Weed Science**, Ithaca, v. 41, p. 207-212, 1993.

VOLL, E.; GAZZIERO, D. L. P.; BRIGHENTI, A. M.; ADEGAS, F. S.; GAUDÊNCIO, C. de A.; VOLL, C. E. **A dinâmica das plantas daninhas e práticas de manejo**. Embrapa Soja, 2005. 85 p. (Embrapa Soja. Documentos, 260).

WEINER, J.; FRECKLETON, R. P. Constant final yield. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 41, p. 173-192, 2010.

Cultivo intercalar no manejo das plantas daninhas

Anastácia Fontanetti, Gabriela Cristina Salgado, João Carlos Cardoso Galvão

Introdução

Desde 1945, os agricultores brasileiros já utilizam herbicidas para o controle das plantas daninhas. Porém, nas últimas décadas, o elevado custo da mão de obra no campo e a liberação das culturas transgênicas tornaram o uso dos herbicidas indispensável para a agricultura. Essas modificações nos sistemas de cultivo contribuíram não apenas para a seleção de espécies daninhas resistentes aos princípios ativos existentes, obrigando o aprimoramento e desenvolvimento de novos ativos, mas também para contaminação e desequilíbrio ambiental.

Recentemente um estudo realizado pela Embrapa, propondo ações emergenciais para controle integrado da *Helicoverpa* spp. em áreas agrícolas, destacou que o plantio sucessivo de espécies hospedeiras, como o milho transgênico (milho Bt), a soja e o algodão transgênicos com resistência aos herbicidas, é a principal causa do aumento populacional dessa praga. No tocante ao uso de cultivares de soja e algodão transgênicos com resistência ao herbicida glifosato, o estudo aponta que tal fator pode ter alterado a diversidade de plantas daninhas, em função da utilização constante do mesmo ativo, e conseqüentemente ampliado a população de artrópodes e patógenos, que encontram nessas plantas o abrigo e/ou alimento necessário, aumentando os problemas fitossanitários nas culturas (Embrapa, 2013).

A dinâmica das plantas daninhas pode ser definida como a mudança na composição da comunidade infestante no tempo, considerando o número e a dominância relativa de cada espécie no agroecossistema (Zelaya et al., 1997). Os fatores físicos e biológicos do agroecossistema e principalmente as práticas agrônômicas, como o revolvimento do solo, a rotação de culturas e a utilização de herbicidas, influenciam na composição e densidade das plantas daninhas e também no banco de sementes (Godoy et al., 1995).

Dessa forma, a perpetuação de uma espécie como planta daninha em um agroecossistema depende da sua plasticidade e de processos que em longo prazo, proporcionem flexibilidade adaptativa em razão das eventuais alterações do ambiente e das modificações que normalmente ocorrem em condições naturais em todo o sistema, através do tempo (Fernandez, 1979). Ou seja, a integração dos métodos de controle químico, físico, biológico e

cultural pode reduzir os problemas atuais, como a seleção de espécies resistentes a herbicidas e o desequilíbrio ambiental. No entanto, há necessidade da sistematização dos resultados já obtidos, com os diferentes controles alternativos ao químico, além do desenvolvimento de pesquisas aplicadas ao tema.

O estudo de métodos alternativos, ao químico, para o controle das plantas daninhas atende, ainda, a crescente demanda dos sistemas orgânicos de cultivo, que necessitam de estratégias eficientes e com custos competitivos.

Cultivo intercalar: princípios ecológicos

Para iniciar a discussão acerca do uso do cultivo intercalar como método cultural de controle das plantas daninhas é necessário recordar alguns conceitos da ecologia. Quando um habitat é perturbado, ou seja, uma floresta derrubada, ou um campo arado para o cultivo, a comunidade vegetal lentamente se reconstrói por colonização e desaparecimento de espécies. Porém, uma espécie só ocorre quando é capaz de atingir o novo local, quando há recursos e condições necessárias para seu estabelecimento e desenvolvimento, e ainda que competidores, predadores e parasitas não sejam capazes de excluí-la. Assim, a ocupação do agroecossistemas no espaço e tempo, pelas culturas de interesse, reduz a disponibilidade de nichos adequados ao crescimento e desenvolvimento das plantas daninhas (Pitelli, 2003).

Essa estratégia pode ser alcançada pela rotação de culturas, mantendo-se o solo sempre coberto (plantas vivas ou palhada), sem as “janelas” da entressafra, não permitindo a recolonização da área com espécies infestantes. A redução do espaçamento entrelinhas e o aumento da densidade das plantas de interesse, e ainda o cultivo de espécies intercalares às comerciais, como forrageiras, adubos verdes e até mesmo culturas econômicas, são outras estratégias que podem ser utilizadas.

Nos cultivos intercalares é desejável que as espécies apresentem características morfológicas diferentes, para evitar a competição por água, nutrientes e energia luminosa. Nesse sistema, a divisão da radiação solar incidente sobre as plantas será determinada pela altura delas, pela forma de distribuição das folhas no espaço e pela eficiência de interceptação e absorção. O sombreamento causado pela cultura mais alta reduz a quantidade de radiação solar que incide sobre a cultura mais baixa (Maciel et al., 2004).

É importante destacar que as características morfológicas das plantas podem, também, variar entre genótipos da mesma espécie. Por exemplo, na cultura do milho, os genótipos modernos foram selecionados para interceptarem maior radiação fotossintética ativa. Algumas alterações nos genótipos, como o índice de área foliar, o ângulo de inserção da folha, a quantidade de folhas e a distribuição das folhas nas plantas, foram modificadas para elevar a capacidade da planta em interceptar a radiação solar (Argenta et al., 2001).

Essas características também propiciaram a redução do espaçamento entrelinhas na cultura do milho. Balbinot Júnior e Fleck (2005) estudaram a competitividade de dois genótipos de milho (híbrido e variedade) com plantas daninhas em diferentes espaçamentos entre fileiras (0,4; 0,6; 0,8; 1,0 m), a massa seca das plantas daninhas diminui com a redução dos espaçamentos tanto na variedade como no híbrido, entretanto o híbrido teve aumento da produtividade com a redução do espaçamento. Os autores concluíram que a redução do espaçamento entre fileiras permite ao milho melhores condições para competição com as plantas daninhas, especialmente para plantas que apresentem arquitetura "moderna" (mais baixa).

O genótipo também é importante quando desejamos reduzir a competição entre as plantas comerciais e as espécies intercalares. Fontanetti (2008) conclui que cultivares de milho com arquitetura ereta e porte baixo, como o híbrido simples, propiciaram melhor desenvolvimento das plantas de feijão-de-porco e consequentemente maior produção de matéria seca total no consórcio, sem, no entanto, reduzir a produção de grãos.

Já para a escolha das espécies intercalares, além de conhecer as características morfológicas e ecofisiológicas da parte aérea das plantas, é de suma importância conhecer as características de suas raízes. Pois boa parte da competição entre as plantas ocorre abaixo do solo. A ocupação dos espaços do solo pelas raízes tem importância primária na competição. A habilidade de ocupação espacial depende de várias características das raízes, incluindo taxa de crescimento relativo, biomassa, densidade de pelos radiculares e área superficial total (Casper & Jackson, 1997).

Porém, há necessidade de duas condições prévias para que a competição aconteça, as raízes devem sobrepor a área de absorção de nutrientes e água com as raízes da planta vizinha e que a quantidade de nutrientes no solo não seja suficiente para sustentar o desenvolvimento de todo o sistema. Espécies que possuem diferente distribuição temporal e

espacial das raízes parecem reduzir a competição no solo. Raízes profundas e com maior desenvolvimento (acúmulo de biomassa e volume) são mais competitivas em situações de estresse hídrico (Zanine & Santos, 2004). Ou seja, a competição pode ser minimizada variando o espaçamento e a época de plantio das espécies intercalares e/ou comerciais.

Adubos verdes e espécies forrageiras

O controle das plantas daninhas pela adubação verde pode ocorrer tanto por efeitos físicos, alelopáticos, como biológicos: a cobertura morta exerce uma barreira física sobre os solos, influenciando na germinação e emergência de plantas daninhas que são fotoblásticas positivas e que necessitam de maior amplitude térmica para a germinação; a ação alelopática das plantas durante o crescimento vegetativo e no processo de decomposição exerce inibição interespecífica entre as espécies; os efeitos biológicos se devem à decomposição de resíduos orgânicos sobre o solo, aumento do teor de matéria orgânica, conseqüentemente gerando condições para desenvolvimento de microrganismos e insetos que podem utilizar as sementes e plântulas como fontes de energia (Monquero & Hirata, 2014; Severino & Christoffoleti, 2001; Erasmo et al., 2004).

No entanto, o sucesso do consórcio de espécies econômicas com os adubos verdes e/ou espécies forrageiras, tanto na supressão das plantas daninhas quanto na produtividade da cultura econômica, depende da escolha correta das espécies que irão conviver durante todo o ciclo ou em parte deste.

Alguns trabalhos já avaliaram o crescimento e desenvolvimento dos adubos verdes em cultivo exclusivo, e esses dados podem auxiliar na escolha das espécies a serem utilizadas nos consórcios.

A porcentagem de cobertura do solo é uma das características mais importantes para a supressão das espécies daninhas, uma vez que quanto mais rápido ocupam o solo, menor é a “janela”, ou espaço disponível. As espécies feijão-de-porco, mucuna-preta, mucuna-cinza e lab-lab apresentam rápida ocupação do solo, 100% de cobertura aos 40 dias após a semeadura (Teodoro et al., 2011; Favero et al., 2001). Já a espécie guandu-anão atinge seu máximo crescimento aos 60 dias após semeadura, reduzindo posteriormente; a crotalaria-júncea concentra o máximo crescimento até os 40 dias, reduzindo-o entre 40-60 dias após semeadura, momento em que retorna o crescimento (Teodoro et al., 2011; Amabile et al., 2000). Ressalta-se que essas espécies são sensíveis ao fotoperíodo e cessam o crescimento vegetativo,

após o florescimento. Além disso, o crescimento inicial lento da espécie guandu-anão e o hábito de crescimento arbustivo lhe conferem menor agressividade na supressão de plantas infestantes (Favero et al., 2001).

Ainda sobre o efeito dos adubos verdes, em cultivo exclusivo, sobre as plantas daninhas, Favero et al. (2000) verificaram que as espécies feijão-bravo-do-ceará e mucuna-preta apresentaram a mesma produção de massa seca tanto na ausência como em competição com as plantas daninhas, indicando que essas espécies são eficientes competidoras. Os mesmos autores verificaram, no entanto, que a produção de massa seca das espécies feijão-de-porco, lab-lab e guandu foi menor quando em competição com as plantas daninhas. Porém, as espécies foram capazes de reduzir a produção de massa seca total das espécies daninhas, indicando que elas podem também exercer efeito físicos e até alelopáticos de supressão. Monquero et al. (2009) avaliaram o efeito da palhada de adubos verdes, crotalaria-júncea, feijão-de-porco, milheto e mucuna-preta em superfície e/ou incorporadas no solo, sobre duas espécies daninhas: *Ipomea grandifolia* e *Brachiaria decumbens*; os autores verificaram que a mucuna-preta foi a mais eficiente em reduzir a emergência da espécie *I. grandifolia* nos dois manejos utilizados e para a espécie *B. decumbens*, os adubos verdes mais eficientes foram o milheto e a crotalaria-júncea.

No entanto, para o cultivo intercalar é necessário que o adubo verde não venha a competir com a cultura principal. Nesse sentido, o hábito de crescimento das espécies também deve ser levado em consideração. Especificamente sobre o cultivo de milho com adubos verdes, a época de plantio do adubo verde depende, em grande parte, do seu hábito de crescimento. Para as espécies de crescimento ereto e porte baixo a médio, como o feijão-de-porco, o plantio simultâneo ao milho tem sido satisfatório. Para Perin et al. (2007) e Fontanetti (2008), o consórcio do milho com até seis plantas de feijão-de-porco por metro linear não afeta a produtividade de grãos de milho, tanto no sistema de plantio direto como no sistema convencional. Para as mucunas, espécies de hábito trepador, tem sido recomendado o plantio entre 15 e 20 dias após o milho, ou após a primeira capina. De acordo com Alcântara et al. (2005), a semeadura da mucuna-anã, quinze dias após o plantio do milho, é viável tecnicamente, tanto para a produção de milho quanto para a produção de massa seca da leguminosa.

Efeitos na dinâmica das plantas daninhas

Quando a espécie intercalar é um adubo verde, esse pode alterar as condições e recursos disponíveis, reduzindo a infestação e modificando a comunidade e o banco de sementes das espécies espontâneas no solo (Monquero et al., 2009).

Trabalhos que avaliaram o consórcio de milho/feijão-de-porco, semeado na mesma linha do milho, indicaram que não houve redução na produtividade do cereal. Mas a comunidade de plantas daninhas na área foi, ao longo dos anos, modificada pela presença do adubo verde. Correa et al. (2014) avaliaram o efeito desse consórcio na dinâmica das plantas daninhas, durante quatro safras consecutivas de milho em sistema de plantio direto orgânico, e verificaram redução da importância relativa das espécies *Artemisia verlotorum*, *Bidens pilosa* e *Digitaria* sp. Os autores relatam que a presença do feijão-de-porco melhorou as características químicas do solo, e aumentou consideravelmente a produção da aveia-preta, planta de cobertura utilizada para produção de palha no sistema; essa palha, provavelmente, contribui para a redução da emergência das plantas de *A. verlotorum*.

Para a espécie *Bidens pilosa*, os autores atribuem os efeitos na redução do número de plantas e da massa seca ao sombreamento proporcionado pelo feijão-de-porco nas entrelinhas do milho, visto que essa espécie é fotoblástica positiva. Já a redução da importância relativa da espécie *Digitaria* sp. deveu-se ao fato de a espécie apresentar lento crescimento inicial, perdendo a competição com espécies de rápido estabelecimento. Além disso, provavelmente o aumento do sombreamento proporcionado pelo feijão-de-porco nas entrelinhas retardou seu crescimento, por se tratar de uma espécie que apresenta metabolismo C4, dependente de alta temperatura e intensidade luminosa para o desenvolvimento.

O cultivo intercalar de milho com guandu-anão (*Cajanus cajan*) em sistema orgânico reduziu a importância relativa das espécies *Amaranthus viridis* e *Cyperus rotundus* no primeiro ano de cultivo. No segundo ano consecutivo do consórcio, houve maior sucessão da flora infestante, no período compreendido entre o estágio V4 (quarta folha expandida) até a colheita das espigas, ocorrendo redução de, aproximadamente, 27% das famílias, porém houve aumento de 20% das espécies. Além disso, o guandu-anão reduziu a infestação de *Brachiaria decumbens*, no entanto, os autores destacaram que o guandu-anão produziu reduzida massa seca e não foi eficiente para controlar as plantas daninhas na área.

Na cultura do café, Moreira et al. (2013) avaliaram o período de convivência dos adubos verdes, feijão-de-porco e lab-lab, nas entrelinhas, durante dois anos de cultivo. Os autores verificaram que os adubos verdes que permaneceram por maior período nas entrelinhas do cafeeiro, e consequentemente produziram maior biomassa, contribuíram para aumentar a diversidade da flora infestante. No entanto, não reduziram a infestação da espécie *Cyperus rotundus*, que apresentou a maior importância relativa, tanto no cultivo exclusivo do cafeeiro quanto nos intercalares com os adubos verdes.

Efeitos na supressão das plantas daninhas

De acordo, com os trabalhos apresentados anteriormente, os adubos verdes e as forrageiras cultivados em consórcio com as culturas modificam a dinâmica da comunidade de plantas daninhas. Porém, em muitos casos não reduzem efetivamente sua emergência e produção de massa seca, não impedindo a competição com as culturas econômicas pelos recursos.

No caso da consorciação do milho com forrageiras tropicais, há diversos relatos da redução da infestação e do acúmulo de massa seca e área foliar de plantas daninhas. No entanto, a eficiência na supressão depende do crescimento e desenvolvimento das forrageiras perenes. Avaliando o cultivo intercalar de forrageiras com o milho, Severino et al. (2006) verificaram que a *Brachiaria decumbens* foi a forrageira que menos reduziu a infestação das plantas daninhas, já a *Brachiaria brizantha* foi a forrageira mais eficiente em reduzir a infestação de corda-de-violão e menos eficiente em suprimir o crescimento do caruru-roxo; e a planta forrageira *Panicum maximum*, por sua vez, reduziu o crescimento do caruru-roxo e a área foliar do capim-colchão.

Já Skora Neto (1993), estudando o controle de plantas infestantes com adubos verdes (mucuna-anã, crotalária, feijão-de-porco, entre outros) em consórcio com milho, constatou que os adubos verdes mucuna-anã, feijão-de-porco e guandu-anão, intercalados, plantados em fileiras duplas, 30 dias depois do cultivo do milho na entrelinha, proporcionaram melhor controle do capim-marmelada, contudo, o autor concluiu que o consórcio não controlou eficientemente as demais espécies daninhas.

Para a cultura do café, Partelli et al. (2010) avaliaram o efeito das plantas de cobertura mucuna-anã, feijão-de-porco, milheto e feijão-guandu na supressão das plantas daninhas nas entrelinhas do cafezal. O feijão-de-porco e a mucuna-anã proporcionaram redução da matéria seca das plantas daninhas, em relação ao tratamento testemunha (ausência das plantas de

cobertura). Além disso, o feijão-de-porco causou redução de peso médio das espécies daninhas. A interferência, possivelmente, deveu-se ao incremento do efeito físico, por dificultar a entrada de fótons de luz até as plantas daninhas, prejudicando seu crescimento por limitação energética para ativar os fotossistemas e pela competição por nutrientes. O milheto, apesar de ser uma espécie com grande potencial de produção de biomassa, de acordo com os autores, apresentou baixa produção, fato que pode estar relacionado com o sombreamento imposto pelo cafeeiro, já que o milheto apresenta metabolismo C4. Por sua vez, o feijão-guandu não diferiu do tratamento testemunha, com relação à supressão das plantas daninhas, o que pode estar associado ao lento crescimento inicial e porte ereto, ocasionando baixa cobertura do solo e reduzida capacidade de produção de biomassa até os 76 dias.

Culturas econômicas

O consórcio entre duas ou mais culturas econômicas intensificam o uso da terra, no tempo e no espaço, melhora o aproveitamento dos recursos: água, nutrientes e radiação solar. Aumenta a estabilidade da produção das culturas frente ao estresse e proporciona diversificação de produtos e renda, principalmente para os pequenos agricultores. A maior cobertura do solo, proporcionada pelos policultivos, pode ainda auxiliar no controle das plantas daninhas.

Alguns trabalhos indicam que sistemas consorciados reduzem a infestação por plantas daninhas. Os consórcios feijão/girassol (quatro fileiras de feijão distanciadas entre si por 1 m, com onze plantas por metro, e quatro fileiras de girassol distanciadas entre si por 1 m, com espaçamento de 0,4 m entre plantas - 2,5 plantas por metro) e milho/girassol (quatro fileiras de girassol e quatro fileiras de milho, com 1 m de distância entre filas de uma mesma cultura, o espaçamento entre plantas na linha foi de 0,4 m) reduziram a produção de massa seca das plantas daninhas em relação a cada espécie em monocultivo. Esses consórcios também foram os que possibilitaram a maior cobertura do solo (Fleck et al., 1984).

Ronchi et al. (2008) ressaltam a importância da escolha das espécies no sistema consorciado. Para a cultura do mamoeiro, por exemplo, os autores destacam a importância do hábito de crescimento da cultura consorciada. O consórcio do mamoeiro com caupi (*Vigna unguiculata*) reduziu em 90% a biomassa das plantas daninhas, não sombreou o mamoeiro e aumentou a

produtividade. Em contrapartida, outras culturas, como o milho e o feijão-vagem, sombrearam e reduziram a produtividade do mamoeiro. Lima et al. (2002) avaliaram o cultivo intercalar de feijão, milho e feijão-de-porco nas entrelinhas do maracujazeiro amarelo, e concluíram que a cultivo do milho e feijão favorece a produção de frutos, e quando associado ao controle químico reduziu a infestação de plantas daninhas.

Considerações finais

É inegável a necessidade da sistematização dos resultados e o desenvolvimento de novas pesquisas sobre métodos alternativos ao químico para o manejo das plantas daninhas. Tanto para atender a demanda dos sistemas orgânicos de cultivo, como, principalmente, minimizar os impactos gerados pelos métodos atuais de controle, que além de ineficientes para determinadas espécies daninhas vêm contribuindo na pressão de seleção de pragas e doenças.

Sintetizando o texto apresentado, a eficiência do cultivo intercalar, no manejo das plantas daninhas, depende de vários aspectos. Entre esses, destaca-se a escolha da espécie intercalar, seja essa adubo verde ou outra cultura econômica. Em geral, as espécies que apresentam porte baixo e rápido crescimento inicial são mais eficientes. Em áreas com culturas perenes, já instaladas, e que proporcionam sombreamento parcial de entrelinhas, plantas com metabolismo C4, por necessitarem de maior radiação solar, não apresentam bom acúmulo de massa seca e não exercem eficiente supressão das plantas daninhas. Ressalta-se que a espécie intercalar não deve concorrer com a cultura econômica pelos fatores de produção, e a competição pode ser manejada em função da época e densidade de plantio, espaçamento entre plantas, podas, roçadas e até mesmo subdoses de herbicidas.

Referências

ALCÂNTARA, F. A. de; CASTELO BRANCO, M.; MELO, P. E. de; SANTOS, R. C. dos. **Consórcio de milho e mucuna anã visando ao manejo sustentável do solo em área de agricultura urbana**. Embrapa Hortaliças, 2005. 13 p. (Embrapa Hortaliças. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 13).

AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, M. de C. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos cerrados. **Pesquisa**

Agropecuária Brasileira, v. 35, n. 1, p. 47-54, 2000.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da; SANGÓI, L. Arranjo de plantas de milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, v. 31, n. 6, p. 1075-1084, 2001.

BALBINOT JÚNIOR, A. A.; FLECK, N. G. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho em função do arranjo espacial de plantas e características dos genótipos. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 245-252, 2004.

CASPER, B. B.; JACKSON, B. R. Plant competition underground. **Annual reviews Ecology Systemic**, v. 28, p. 545-570, 1997.

CORREA, M. L. P.; GALVÃO, J. C. C.; FONTANETTI, A.; LEMOS, J. P.; CONCEIÇÃO, P. M. da. Interferência do feijão-de-porco na dinâmica de plantas espontâneas no cultivo do milho orgânico em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n. 2, p. 160-172, 2014.

EMBRAPA. **Ações emergenciais propostas pela EMBRAPA para o manejo integrado de *Helicoverpa* pp. em áreas agrícolas**. 2013. 19 p. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/Manejo-Helicoverpa%20%282%29.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2014.

ERASMO, E. A. L.; AZEVEDO, W. R.; SARMENTO, R. de A.; CUNBA, A. de M.; GARCI, S. L. R. Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 22, n.3, p. 337-342, 2004.

FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M. da. Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária** v. 36, p. 1355-1362, 2001.

FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; COSTA, L. M.; ALVARENGA, R. C.; NEVES, J. C. L. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 171-177, 2000.

FERNANDEZ, O. Las malezas y su evolucion. **Ciencia y Investigation**, v. 35, p. 49-59, 1979.
FLECK, N. G.; MACHADO, C. M. N.; SOUZA, R. S. de S. Eficiência da consorciação de culturas no controle de plantas daninhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 5, p. 591-598, 1984.

FONTANETTI, A. **Adubação e dinâmica de plantas daninhas em sistema de plantio direto orgânico de milho**. 2008. 84 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, 2008.

GODOY, G.; VEGA, J.; PITTY, A. El tipo de labranza afecta la flora y la distribución vertical del banco de semillas de malezas. **Ceiba**, Tegucigalpa, v. 36, n. 2, p. 217-229, 1995.

LIMA, A. de A.; CALDAS, R. C.; BORGES, A. L.; SILVINO, C. H. P. R.; TRINDADE, A. V.; PIRES, M. de M.; BADORÓ, M. M. C. M.; MATA, H. T. da C.; SOUZA, J. da S. Cultivos intercalares e controle de

plantas daninhas em plantios de maracujá-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 3, p. 711-713, 2002.

MACIEL, A. D.; ARF, O.; SILVA, M. G. da; SÁ, M. E. de; SALATIÉR, B.; ANDRADE, J. A. C.; SOBRINHO, E. B. Comportamento do milho consorciado com feijão em sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 26, n. 3, p. 309-314, 2004.

MONQUERO, P. A.; HIRATA, A. C. S. Manejo de plantas daninhas com adubação verde. In: LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Embrapa, 2014. p. 481-507.

MONQUERO, P. A.; AMARAL, L. R.; INÁCIO, E. M.; BRUNHARA, J. P.; BINHA, D. P.; SILVA, A. C. Efeito de adubos verdes na supressão de espécies de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 27, n. 1, p. 85-95, 2009.

MOREIRA, G. M.; OLIVEIRA, R.; BARRELLA, T. P.; FONTANETTI, A.; SANTOS, R. H. S.; FERREIRA, F. A. Fitossociologia de plantas daninhas do cafezal consorciado com leguminosas. **Planta Daninha**, v. 31, p. 329-340, 2013.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; SILVA, M. G.; RAMALHO, J. C. Crescimento vegetativo sazonal em ramos de diferentes idades do cafeeiro conilon. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, p. 619-626, 2010.

PERIN, A.; BERNARDO, J. T.; SANTOS, R. H. S.; FREITAS, G. B. Desempenho agrônômico de milho consorciado com feijão-de-porco em duas épocas de cultivo no sistema orgânico de produção. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 903-908, 2007.

PITELLI, R. A.; DURIGAN, J. C. Plantas daninhas no sistema de plantio direto de culturas anuais. In: ENCONTRO SUL MINEIRO SOBRE SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO, 1., 2003, Lavras. **Anais... UFLA**, 2003. 1 CD-ROM.

RONCHI, C. P.; SILVA, A. A.; SERRANO, L. A. L.; CATTANEO, L. F.; SANTANA, E. N.; FERREGUETTI, G. A. Manejo de plantas daninhas na cultura do mamoeiro. **Planta Daninha**, v. 26, n. 4, p. 937-947, 2008.

SEVERINO, F. J.; CHRISTOFFOLETTI, P. J. Efeitos de quantidades de fitomassa de adubos verdes na supressão de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 19, n. 2, p. 223-228, 2001.

SEVERINO, F. J.; CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETTI, P. J. Interferências mútuas entre a cultura do milho, espécies forrageiras e plantas daninhas em um sistema de consórcio. III - Implicações sobre as plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 53-60, 2006.

SKORA NETO, F. Controle de plantas daninhas através de coberturas verdes consorciadas com milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 10, p. 1165-1171, out. 1993.

TEODORO, R. B.; OLIVEIRA, F. L. de; SILVA, D. M. N. da; FÁVERO, C.; QUARESMA, M. A. L. Aspectos agrônômicos de leguminosas para adubação verde no cerrado do Alto Vale do

Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 635-643, 2011.

ZANINE, A. de M.; SANTOS, E. M. Competição entre espécies de plantas: uma revisão. **Revista da FZVA**, v. 11, n. 1, p. 10-30, 2004.

ZELAYA, I. A.; OVEN, M. D. K.; PITTY, A. Effect of tillage and environment on weed population dynamics in the dry tropics. **Ceiba**, , v. 38, n. 2, p. 123-135, 1997.

Herbicidas Naturais com Potencial para Uso em Agricultura Orgânica

Michael Giepen, Francisco Skora Neto, Ulrich Köpke

Introdução

A agricultura convencional depende da aplicação de agroquímicos para proteger as culturas dos insetos-praga, microrganismos patogênicos e plantas daninhas. As estratégias de proteção das culturas em Agricultura Orgânica (AO) são mais diversificadas, mas a pulverização também é prática comum. Por exemplo, óleo de neem, extraído de sementes da árvore de Neem (*Azadirachta indica*), piretro extraído de plantas de *Chrysanthemum* spp. e formulações contendo esporos e/ou proteínas de *Bacillus thuringiensis* são certificados para uso como inseticidas naturais em AO. Para doenças fúngicas, a AO faz uso de vários ingredientes ativos: em videiras, enxofre molhável é usado contra oídio (*Erysiphe necator*) e cesa ($(\text{CuSO}_4, \text{Ca}(\text{OH})_2)$) tem uma longa história de aplicação para controle de míldio (*Plasmopara viticola*); cobre é amplamente usado para o controle de requeima (*Phytophthora infestans*) na batata. Somente alguns poucos casos de pulverização para o controle de plantas daninhas são conhecidos, tal como o uso de extratos de pinho certificados na Oceania (James et al., 2002).

Na Europa, um dos principais argumentos contra o uso de agentes com propriedades herbicidas em agricultura orgânica é que não há necessidade imperativa para uso de pulverizações. Em geral, medidas suficientemente eficientes de controle de plantas daninhas estão disponíveis para os praticantes. Rotação de culturas diversificadas com pastagens perenes em combinação com controle mecânico, na maioria dos casos, resulta em controle satisfatório das plantas daninhas. Consequentemente, pelo menos na Europa, praticantes e certificadores não veem necessidade para a certificação de produtos adicionais de pulverização para controle de plantas daninhas. Alguns praticantes são até mesmo contrários aos herbicidas naturais, temendo que o uso de agentes naturais como herbicidas tornaria a AO mais “convencional”, perdendo um pouco da sua identidade.

Desenvolvimento e registro de produtos é um processo bastante oneroso que somente médias e grandes empresas conseguem suportar. Certamente, a falta de demanda tem mantido as grandes companhias

agroindustriais sem investir no desenvolvimento de produtos para agricultura orgânica. Mas também praticantes de agricultura orgânica dão valor em ser independentes de companhias químicas e se afastarão se eles tiverem que comprar herbicidas naturais de companhias agroquímicas multinacionais. Parece improvável que, em curto prazo, haverá desenvolvimento e registro de um herbicida com um ingrediente ativo natural e sistêmico para agricultura orgânica, pelo menos na Europa.

Contudo, fora da Europa, um forte mercado e bom número de produtores em agricultura orgânica estão presentes nos Estados Unidos da América, na Austrália e Nova Zelândia. Nesses lugares, vários herbicidas têm sido registrados para uso em agricultura orgânica. Mas o uso desses produtos é limitado a áreas urbanas (normalmente jardins ou pequenos pomares), e não há evidência do uso em sistemas agrícolas comerciais. Isto é devido ao custo proibitivo e à baixa eficácia, como será descrito neste capítulo.

O argumento do “não necessário” pode ser verdadeiro para o clima temperado da Europa, onde o plantio direto é raramente usado e o método mecânico de controle de plantas daninhas pode ser aplicado com sucesso. Mas em sistemas agrícolas em regiões tropicais, como América do Sul, com chuvas torrenciais e topografia acidentada, a intensiva movimentação do solo e o controle mecânico de ervas podem tornar a agricultura insustentável por causa dos devastadores problemas de erosão. Nestas regiões, a agricultura de conservação, com uso do plantio direto entre outras técnicas, passa a ser indispensável para sistemas de produção sustentáveis.

Para o controle de plantas daninhas em plantio direto na AO o controle manual é o único método mecânico aplicável após a emergência das culturas, mas o custo é demasiadamente elevado. Portanto, a necessidade de desenvolvimento e registro de herbicidas naturais para agricultura orgânica é muito importante para países tropicais como o Brasil. De fato, o interesse por “herbicidas alternativos” no Brasil é bastante grande. Plantio direto em agricultura orgânica, no momento, não é realizado em escala significativa principalmente por causa da dificuldade no controle de plantas daninhas. Se adequados produtos naturais para controle de plantas daninhas em pós-emergência estivessem disponíveis, o sistema plantio direto poderia ser aplicado com sucesso em AO.

Este capítulo avalia o potencial de herbicidas naturais para o controle de plantas daninhas. Comparados com herbicidas convencionais, os herbicidas naturais apresentados são de menor eficácia e maior custo. No

momento, é improvável que produtos testados sejam competitivos com produtos convencionais. Os herbicidas naturais descritos neste capítulo não são seletivos e a aplicação pode, portanto, ser realizada somente antes da emergência das culturas ou em pós-emergência, com aplicação em faixas com uma proteção para não atingir as plantas das culturas.

O efeito herbicida pré-emergente não é considerado neste trabalho. Por exemplo, foi demonstrado que α -pinene emitido de raízes de algumas espécies arbóreas afeta negativamente o crescimento inicial de raízes (Singh et al., 2006), mas ainda estes resultados são considerados irrelevantes para terpenos aplicados na superfície do solo. Nenhum efeito de inibição na emergência de plantas daninhas foi observado em nossos ensaios, mesmo em solo desnudo preparado com grade. Aplicação em solo coberto com palha faz qualquer atividade pré-emergente ainda menos provável.

Herbicidas microbianos – formulações contendo patógenos de plantas daninhas – são considerados de baixa relevância prática em culturas anuais e também não fazem parte deste capítulo. Esta contribuição trata de uma visão geral de diferentes substâncias, seguida por uma seleção de resultados e conclusões de ensaios realizados em 2012 e 2013 na estação experimental do Iapar em Ponta Grossa e Londrina, Paraná. Implicações do potencial uso de herbicidas naturais na agricultura são discutidas. Ao final do capítulo, são apresentadas algumas diretrizes para futuras pesquisas.

Ingredientes e formulações de herbicidas naturais

Para certificação e aceitação por agricultores orgânicos, os ingredientes de formulações de herbicidas naturais devem ser de origem natural, ter um perfil toxicológico e ambiental positivo e ser eficientes no controle de plantas daninhas a um custo competitivo. Os ingredientes ativos (IA) apresentados neste capítulo foram agrupados em rompedores de membrana celular, sais minerais com efeito fitotóxico e substâncias com efeito sistêmico.

Rompedores de membrana celular (RMC)

A maioria dos produtos comerciais certificados são baseados em ingredientes rompedores de membrana celular (RMC). Nesta categoria estão os óleos minerais e vegetais, ácido acético, ácido pelargônico e surfactantes. RMC penetram a cutícula, alteram sua permeabilidade e penetram no interior das células. Interagem com e danificam as membranas celulares e de

organelas, o que leva à interferência total no metabolismo celular: diminui o potencial das membranas, e radicais reativos são formados, o que induz ao aumento no dano às membranas. O conteúdo celular vaza e células morrem como resultado de incontrolável perda de água (Bakkali et al., 2008). O efeito não é sistêmico pois as substâncias não são transportadas no interior da planta. Consequentemente, os meristemas não atingidos irão rebrotar e a recuperação da planta pode ocorrer rapidamente. Regra geral a todos RMC é que alta concentração e alta dose de IA são necessários para efetivamente matar ou danificar severamente as plantas daninhas.

Óleos (mineral, vegetal e essencial)

As composições químicas dos óleos mineral, vegetal e essencial são diferentes, mas eles são agrupados em razão do efeito similar nas plantas e porque eles são sempre aplicados diluídos em emulsão aquosa, o que faz obrigatório o uso de emulsificante em sua formulação.

Óleos minerais estão entre os primeiros herbicidas usados na agricultura (Crafts & Reiber, 1948). Injúria aguda de óleos pesados em plantas é causada pelos compostos voláteis insaturados e voláteis acídicos (Baker, 1970), enquanto que injúrias crônicas são causadas por compostos insaturados de alto ponto de ebulição. Dentro das diferentes classes de constituintes dos óleos minerais, a toxicidade aumenta na seguinte ordem: parafinas < naftênicos < olefinas < aromáticos. Insaturação parece ser o principal fator da fitotoxicidade do óleo (mineral), o que é atribuído à sua maior reatividade (Gauvrit & Cabanne, 2006). A aplicação de óleo mineral cru pesado é, obviamente, prejudicial ao ambiente. Mas alguns resultados com óleos minerais ajudam a explicar alguns dos efeitos de óleos vegetais e óleos essenciais.

Em ensaio com discos de folhas, os óleos vegetais refinados (colza, canola, soja e outros) não causaram nenhum vazamento eletrolítico das células (Tworkoski, 2002). Em nossos testes preliminares com óleos refinados de milho, mamona e soja em concentrações de até 200 L/ha não se percebeu nenhum efeito fitotóxico nas plantas daninhas; quando esses óleos foram adicionados a formulações com óleos essenciais e cloreto de sódio (NaCl), o controle das plantas daninhas foi reduzido (Giepen, 2015). Contudo, em informação pessoal de pesquisador do IAPAR (Androcio, 2015), a aplicação de óleo vegetal cru (óleo de mamona 3% e de algodão 5%) para teste de controle de insetos causou queima foliar generalizada. Este efeito pode ser devido ao

fato de que óleo vegetal cru contém até 10% de ácidos graxos livres que são de fato fitotóxicos. Além disso, especialmente óleo vegetal não saturado oxida-se em presença da luz solar, formando ácidos graxos livres no processo (Carlsson et al., 1976).

Óleo vegetal não refinado com alto teor de ácidos graxos livres e/ou ácidos graxos insaturados poderiam, portanto, ser testados para um possível efeito fitotóxico em plantas daninhas. Vaughn e Holser (2007) estudaram o efeito fitotóxico de 1-2% de emulsão aquosa de diferentes tipos de biodiesel e concluíram que o efeito de biodiesel nas plantas é maior que dos produtos comerciais a base de óleo essencial ou ácido pelargônico. Biodiesel pode ser uma forma de herbicida de contato ambientalmente amigável, mas seu uso em AO pode não ser aceito, pois é considerado um produto sintético.

Óleos essenciais, como óleos de cravo, tomilho, capim-limão, pinho, laranja, citronela e eucalipto, são os mais comuns ingredientes encontrados em formulações comerciais de herbicidas orgânicos. Estes óleos normalmente consistem de uma ampla faixa de constituintes químicos, mas são principalmente terpenos (principalmente monoterpenos e sesquiterpenos) e aromáticos voláteis. O tipo e a quantidade de constituintes variam entre espécies de um gênero, uma variedade dentro da espécie e das condições ambientais nos locais de produção (Ioannou et al., 2014); então, óleos essenciais de plantas não são insumos com composição química exata e precisa, o que pode limitar a reprodução de resultados experimentais por causa da variação na composição dos óleos.

Bakkali et al. (2008) revisaram os óleos essenciais com foco no seu efeito e citotoxicidade geral. A revisão estabelece que os diferentes óleos essenciais não diferem no seu modo de ação mas diferem na magnitude do seu efeito, o que foi observado também em nossos testes de campo. Em razão da sua volatilidade, os óleos essenciais somente causam injúria aguda às plantas e não injúria crônica, como os óleos minerais pesados. Com raras exceções, os óleos essenciais apresentam um perfil toxicológico positivo.

De maneira semelhante aos óleos minerais, o grau de insaturação e especialmente aromaticidade dos constituintes são os principais fatores para sua efetividade como supressores de plantas daninhas. Dentre os constituintes dos óleos essenciais, os constituintes aromáticos voláteis são os mais tóxicos para as plantas, como o eugenol presente no óleo de canela ou o timol, no óleo de tomilho.

Um problema chave no uso de óleos essenciais é sua volatilidade. O

efeito de dissolução da cutícula e das membranas é limitado no tempo e a razão pela qual eles causam somente injúria aguda nas plantas. A volatilidade das substâncias (alta pressão de vapor) é afetada por sua polaridade. O álcool α -terpineol é mais polar que limoneno, um hidrocarboneto e, então, menos volátil. Na elaboração de formulações de herbicidas naturais observou-se que limoneno separava-se rapidamente quando misturado com água sem surfactante, enquanto óleo de pinho sintético (que contém 65% de α -terpineol) separava-se mais lentamente e apresentava uma aparência leitosa por um certo período após agitação, porém não apresentava uma emulsão estável.

Weidenhamer et al. (1993) mostram que a solubilidade de álcool derivado de monoterpenos é 1 a 2 magnitudes de ordem mais elevada que hidrocarbonetos puros, e exemplificam com a solubilidade de 13 mg/L para limoneno e 1.360 mg/L para 4-terpineol (isômero do α -terpineol). A menor volatilidade e maior solubilidade em água associadas à maior polaridade do α -terpineol explicariam a maior toxicidade do óleo de pinho sobre as plantas quando comparado com limoneno, em razão da sua capacidade de permanência mais longa na planta-alvo, combinado com maior concentração do óleo em contato com as células-alvo.

Há informações de ação sistêmica de constituintes de alguns óleos essenciais, por exemplo, do óleo de eucalipto (Singh et al., 2005). Em nossos testes de campo com óleo de eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) não se observou efeito de descoloração ou sobre o crescimento das plantas daninhas em doses de 90 L/ha e nenhuma melhora de controle em mistura como aditivo a óleo de pinho comparado com a formulação sem adição (Giepen, 2015). Contudo, a adição de óleos essenciais com ação sistêmica nas formulações deve ser examinada mais detalhadamente para verificar possíveis efeitos.

Assumindo, numa análise geral, que o modo de ação dos óleos essenciais é o mesmo, então a escolha é baseada no custo e na eficácia. O processo de destilação a vapor é o processo comum na extração de óleos essenciais, consome bastante energia e portanto é de custo elevado. Óleos de tomilho, cravo e capim-limão são obtidos por destilação a vapor e a essência é o único produto do processo de extração, razão pela qual consideram-se esses óleos de baixo potencial econômico como ingredientes ativos para formulação de herbicidas naturais e, se houver algum, seria somente como aditivos a formulações baseadas em outros ingredientes.

Do ponto de vista econômico, subprodutos são geralmente mais

interessantes, como, óleo de pinho da indústria madeireira e o limoneno da indústria de suco de laranja. Esses dois produtos foram selecionados para estudos, respectivamente, por causa de sua eficácia e por seu preço relativamente baixo e também porque estão comercialmente disponíveis e já existem formulações comerciais baseadas nas substâncias que as constituem (terpineol e limoneno). O Estado de São Paulo é um dos maiores produtores mundiais de suco de laranja e limoneno, que é um ingrediente utilizados em formulações comerciais de herbicidas (*Organic Avenger*®/*Natures Avenger*®).

A demanda por limoneno para usos diversos é alta e, mesmo assim, ele ainda é o mais barato de todos os óleos essenciais, com o preço variando de 4 a 7 dólares por litro. Óleo de pinho natural, obtido da destilação a vapor de folhas de pinho, é mais caro, mas ainda assim é um subproduto (madeira é o produto principal). Óleo de pinho é base do herbicida comercial *Organic Interceptor*®. A maioria do óleo de pinho disponível comercialmente ainda é um produto semi-sintético baseado na oxidação da resina de pinho destilada, que contém α -pineno. Este monoterpene é então oxidado com um catalisador para formar a mistura de α -pineno e α -terpineol (65%). Terebentina, que é constituída em grande parte por α -pineno, foi também testada, mas não mostrou qualquer efeito fitotóxico notável, o que pode ser causado por sua baixa solubilidade (22 mg/L) e alta volatilidade, como no caso do limoneno.

Ácidos graxos

Vários ácidos graxos de cadeia média C9-C11, especialmente o ácido pelargônico (C9), causam rápido vazamento eletrolítico e danos não seletivos às plantas. Com a aplicação destes ácidos graxos há um aumento nos ácidos graxos livres no interior da planta, resultando em dano severo às membranas celulares e dos tilacoides. Inicialmente causa danos às plantas pela ruptura das membranas celulares e vazamento do seu conteúdo com posterior peroxidação causada pelos radicais originários da clorofila sensibilizada pela luz e que foi liberada dos tilacoides (Lederer et al., 2004).

Ácido pelargônico é uma substância presente na natureza mas a extração de grandes quantidades não é viável economicamente. Os produtos comerciais disponíveis (*Finalsan*®, *Scythe*®) usam ácido pelargônico sintetizado na forma de amônio solúvel. A vantagem de ácidos graxos de cadeia média é que eles possuem um perfil ambiental e toxicológico ideal, com rápida decomposição. A recomendação de aplicação é de 1.000 L/ha de calda com concentração de ácido pelargônico de cerca de 16% para obter um controle

eficiente das plantas daninhas, mas o custo é de longe impeditivo (maior que US\$ 1.000 por aplicação por hectare). Testes conduzidos pelos autores na Alemanha demonstraram que a concentração pode ser reduzida para até 8% em plantas pequenas, mas rebrota é um problema comum e as gramíneas são pouco afetadas, como em todos os RMC. Outra limitação é que a utilização da forma amoniacal do ácido pelargônio em mistura com sais minerais como NaCl não é possível, pela ocorrência de floculação; mas isso pode ser contornado pelo preparo de emulsões da forma não dissociada. Em razão do custo e da produção sintética, não há expectativa para o seu uso em sistemas agrícolas orgânicos.

Ácido acético

Ácido acético ocorre naturalmente no vinagre e está presente em algumas formulações de herbicidas naturais como, por exemplo, *AllDown*®. Mas apesar de ser uma substância química muito simples com um bom perfil ambiental, o ácido acético como agente de controle de plantas daninhas apresenta algumas desvantagens. A primeira é o alto custo do vinagre natural. A concentração de ácido acético no vinagre varia de 5 a 10%, mas a concentração usada para obter um bom efeito de necrose dos tecidos (queima) nas plantas daninhas é de 15 a 20%, portanto, concentrações acima das que se encontram no vinagre natural (Evans et al., 2009; Evans & Bellinder, 2009). O volume de calda de uma aplicação normal de ácido acético é de 500 a 1.000 L/ha, ou 50 a 200 L/ha de ácido acético. Somente o uso de ácido acético glacial sintético de preço mais barato poderia ser, portanto, uma opção. Mas por ser sintético, a certificação em agricultura orgânica fica dificultada.

O segundo problema é que concentrações a partir de 10% são cáusticas e causam irritação na pele e dano severo em contato com os olhos e sérios danos pulmonares em inalação. Outro problema é que o volume necessário para aplicação é muito grande e então somente o transporte em alta concentração seria viável; ademais, altas concentrações aumentam ainda mais o perigo em seu manuseio. O transporte de ácido acético em alta concentração (50 a 100%) possui normas específicas que encarecem o frete.

Mais um ponto negativo é que o ácido acético é corrosivo e irá afetar partes metálicas e de borracha do equipamento de pulverização. Por esses motivos, o uso desse produto como um ingrediente ativo único para formulação de herbicidas naturais pode ser desconsiderado. No entanto, ácido acético poderia ser usado como um ingrediente para regulação de pH ou

para incrementar a fitotoxicidade da formulação em concentração de cerca de 1 a 3%. Em testes preliminares, observou-se melhor eficiência com a adição de ácido acético na formulação com RMC e NaCl, mas não se deu prosseguimento a essa linha (Giepen, 2015).

Surfactantes

Surfactantes são ingredientes essenciais em praticamente todas as formulações de pesticidas, incluindo herbicidas naturais. Como muitos dos ingredientes ativos apresentados aqui não são miscíveis em água, os emulsificantes e espalhantes são necessários nas formulações para melhorar a cobertura foliar da pulverização e, portanto, garantir a eficácia do produto.

Os emulsificantes não pertencem a nenhuma família química definida e são quimicamente muito diversificados. Hazen (2000) realizou uma boa revisão sobre definição, classificação e química dos surfactantes. Surfactantes são classificados pela sua ação como emulsificantes, penetrantes, adesivos e ativadores e são ainda agrupados em iônicos e não iônicos. A preferência para formulações convencionais é dada para os surfactantes não iônicos (Young, 2008) pois não interagem com sais da formulação ou presentes na água (água dura).

Os surfactantes são um dos fatores de maior complexidade envolvidos na formulação e para a eficácia e certificação de herbicidas naturais. Como até o momento não há herbicidas naturais certificados na Europa e Brasil, nenhuma referência pode ser feita. Então nos referimos às orientações do OMRI (Instituto de Avaliação de Produtos Orgânicos) e EPA (Agência de Proteção Ambiental), dos Estados Unidos, para tentar elucidar dificuldades para registro e certificação de herbicidas naturais.

No processo de rotulagem e registro de agrotóxicos, os ingredientes são classificados em “ativos” e “inertes”, e os surfactantes são enquadrados como “inertes”. Na rotulagem, é requerido que as formulações apresentem o tipo de ingrediente ativo, sua fórmula química e quantidade dos ingredientes presentes na formulação, mas somente a quantidade. A exata natureza dos ingredientes “inertes” não necessita ser explicitada.

Cox e Surgan (2006) revisaram a extensão das implicações altamente problemáticas associadas a essa prática. Iniciando com o registro de agrotóxicos: ingredientes “inertes” não necessitam passar pelo mesmo processo de registro que os ingredientes ativos – nos EUA, estudos de toxicidade aguda de curto prazo são realizados com a formulação completa.

Entretanto, estudos de toxicidade de longo prazo (carcinogenicidade, dano genético) não são exigidos com os “inertes” ou a formulação completa e são realizados somente com os ingredientes ativos. Esta prática tem sido criticada extensamente em razão de várias publicações alertarem para a toxicidade dos surfactantes nas formulações de herbicidas, os quais, em alguns casos, são mais tóxicos que o ingrediente ativo e não tão passivos como o termo “inerte” sugere.

Como exemplo, foi reportado recentemente que o princípio mais tóxico em várias formulações com glifosato é um emulsificante etoxilado (Poe-15) e não propriamente o glifosato (Mesnage et al., 2013). Oakes e Pollak (2000) observaram que os “inertes” em formulações com 2,4-D, contribuíram com a metade da toxicidade total. Cox e Sorgan (2006) afirmam que aumento na toxicidade ambiental ou humana dos surfactantes ou formulações completas comparadas ao ingredientes ativos puros é bastante comum e não está limitado a algumas classes de pesticidas, tipos de formulações e modos de ação dos ingredientes ativos. Portanto, surfactantes usados em herbicidas naturais precisam ser avaliados cuidadosamente.

A Tabela 1 compara a quantidade de inertes aplicados com formulações de dois herbicidas naturais e alguns outros herbicidas convencionais. Como altas concentrações de óleos são necessárias para obter um bom controle, então, conseqüentemente, altas doses totais de emulsificantes também são aplicadas em formulações comerciais de herbicidas naturais. Herbicidas convencionais podem conter mais emulsificantes tóxicos (não limitados à Lista 4 da EPA) e a toxicidade total dos “inertes” pode bem ser maior que em herbicidas naturais, mas a alta quantidade total é a causa de preocupação.

Tabela 1. Quantidades aproximadas de inertes aplicados por ha das formulações comerciais de limoneno, citronela, glifosato, glufosinato, atrazina e 2,4-D.

Produto	Ingrediente ativo	Dose L/ha	Concentração de “Inertes” ^b %	“Inertes” aplicados ^a Kg/ha
Avenger AG ^{®c}	limoneno	100	25-30	25-30
Barrier H [®]	citronela	500-1000	10	50-100
Roundup [®] Original	glifosato	3	68,4	2
Liberty [®] 200	glufosinato	3	89,8	2,7
Proof [®]	atrazina	5	50	2,5
2,4 D	2,4-D	1	42,4	0,4

^a Calculado com base na concentração de inertes indicada no rótulo e na maior dose recomendada; surfactantes adicionais os quais são recomendados no rótulo não estão

incluídos; a adição típica é de 0,25 a 0,5% do volume de aplicação ou 0,5 a 1,0 L/ha (200 L/ha). b “Inertes” pode incluir água ou outros solventes e a exata quantidade é desconhecida no caso de formulações convencionais. c No caso da formulação de limoneno (Avenger AG®) os inertes são de fato emulsificantes de acordo com a MSDS do produto.

Formulações certificáveis de herbicidas naturais da OMRI podem conter emulsificantes sintéticos mencionados na Lista 4 da EPA. Alguns dos emulsificantes permitidos na Lista 4 da EPA são problemáticos ambientalmente. Na patente do herbicida limoneno mantida pela companhia que produz *AvengerAG*® (Messerschmidt; Jankauskas, 2012), os emulsificantes mencionados são uma mistura de dois tipos de nonilfenoletoxilados (NPE), um glicopolipropileno (PPG) e um adjuvante organossiliconado como agente espalhante (exemplo Silwet®).

Organossiliconados são um exemplo de surfactante permitido (Lista 4B da EPA) com efeito em organismos não alvo. Cowles et al. (2000) observaram redução da população de ácaros em plantas tratadas com produtos contendo esse surfactante na formulação.

Os NPE constituem uma classe de emulsificantes muito efetivos, mas são ingredientes muito problemáticos, conhecidos por serem compostos tóxicos, xenobióticos, classificados como disruptores endócrinos (Soares et al., 2008; Ying et al., 2002). Por isto o uso de NPE tem sido restrito na União Europeia (Directiva 2003/53/EC) a 0,1% em formulações de pesticidas. Mesmo o EPA estabelece (NP e NPE plano de ação – RIN 2070-ZA09) que “NPE são altamente tóxicos para organismos aquáticos e no ambiente degrada-se a um nonilfenol ambientalmente mais persistente (NP). NP está associado a efeitos reprodutivos e de desenvolvimento em roedores”. Contudo, ainda os NPE estão na EPA/Lista 4B e podem ser usados em formulações certificáveis pelo OMRI para agricultura orgânica. NPE também são utilizados como espalhantes em soluções de herbicidas na pulverização (Agral®, Energic®), mas neste caso em doses mais baixas de 0,5 a 1,0 L/ha.

Outra consideração importante é que a escolha do emulsificante é crucial para a eficácia da formulação no controle das plantas daninhas. Nos estudos de Vaughn e Holser (2007), o tipo de emulsificante teve um forte efeito na eficácia de formulações com biodiesel no controle das plantas daninhas; um surfactante do grupo dos NPE foi o que apresentou melhores resultados. Também em nossos estudos, seguidamente se verificava a importância dos emulsificantes na eficácia de formulações com RMC e NaCl (Figura 1). Por exemplo, uma emulsão estável de limoneno a 20% (60 a 100

L/ha de limoneno) com Tween20® a 5% (cerca de 20 L/ha) teve somente leve efeito nas plantas daninhas enquanto com NPE (Renex95®), na mesma dose, os resultados foram excelentes. Ademais, observou-se que o efeito de controle usando NPE em dose equivalente foi maior que usando limoneno.

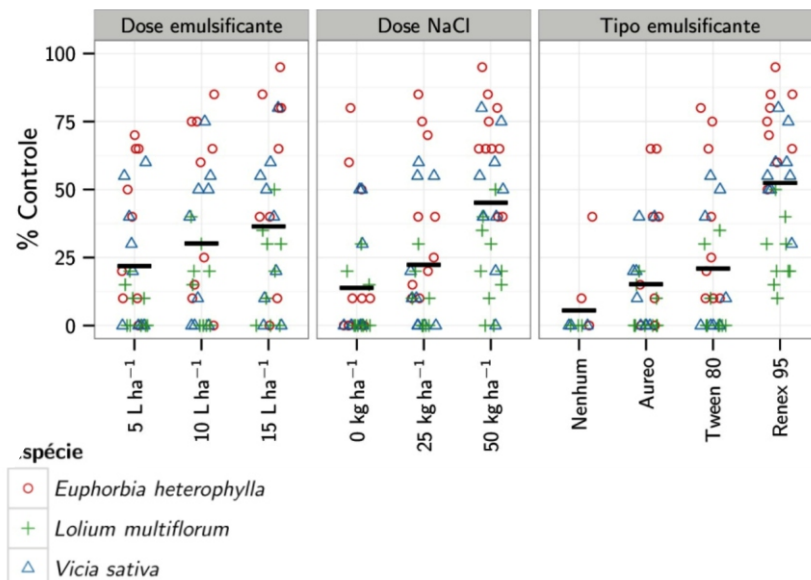


Figura 1. Testes de avaliação da combinação de surfactantes e NaCl. Os resultados estão divididos em grupos ortogonais: **dose de emulsificante**, **dose de NaCl** e **tipo de emulsificante**. Áureo: óleo metilado de soja, Tween80: polisorbato, Renex95: nonilfenoletoxilado. Além do efeito da dose do NaCl o gráfico claramente demonstra a importância do tipo de emulsificante e sua dose. Os emulsificantes aplicados sem outro ingrediente ativo, individualmente, demonstram um efeito no controle das plantas daninhas que pode ser observado no tratamento com 0 kg/ha de NaCl.

Fonte: (GIEPEN, 2015).

Observou-se que alguns emulsificantes mostram um efeito de necrose (queima) considerável nas plantas daninhas (Figura 2 e Figura 1: 0 kg/ha de NaCl) com cerca de 10 L/ha de Renex 95® (um NPE) e 15 L/ha de Tween 80® (um polisorbato), que são doses similares àquelas normalmente aplicadas com formulações comerciais de herbicidas naturais. Portanto, os surfactantes não podem ser generalizados como “inertes” mas, ao contrário, atuam como ingredientes ativos nestes casos. Os emulsificantes alteram a estrutura da cutícula foliar, bem como interagem e modificam as propriedades da membrana celular. Surfactantes aniônicos também interagem com

proteínas e são considerados mais citotóxicos (e portanto fitotóxicos) que os surfactantes não iônicos (Bartnik, 1992). Incluem-se os surfactantes na categoria de RMC por seu efeito similar, se não idêntico, às outras substâncias descritas.

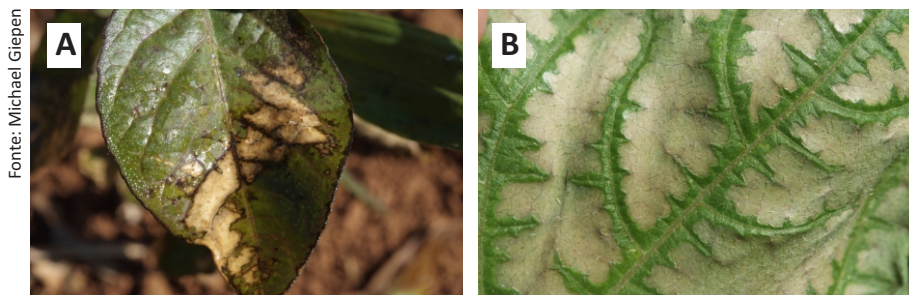


Figura 2. (A) Efeito de 10 L/ha NPE sobre folhas de *Euphorbia heterophylla* e (B) de uma formulação com RMC sobre folhas de *Raphanus raphanistrum*

Se o critério proposto acima para os ingredientes ativos fosse aplicado para os surfactantes na certificação de herbicidas naturais, muitos dos produtos, se não todos, teriam de ser retirados do mercado nos países onde possuem certificação por sua natureza sintética e sua toxicidade. Dessa forma, as normas diretrizes da OMRI deveriam receber uma revisão crítica.

Os surfactantes parecem ser um dos maiores obstáculos para a certificação e aceitação de herbicidas naturais em AO. Surfactantes naturais, ou pelo menos alternativas de surfactantes não tóxicos – preferencialmente não iônicos –, são necessários para o desenvolvimento de produtos sustentáveis. Surfactantes naturais poderiam, por exemplo, ser sabões de óleos vegetais, mas um problema comum com estes surfactantes iônicos é que pode ocorrer floculação quando se adicionam sais à formulação. Como se focou em formulações contendo NaCl, não se conduziu extensiva pesquisa com sabões de origem vegetal.

Um substituto seguro aos NPE que funcionou bem nos testes foi o Tween 80°, um emulsificante usado na indústria de alimentos. Mas também é um produto sintético. Um surfactante não iônico natural seria o ideal.

Sais

Sais com efeito fitotóxico são NaCl e outros cloretos, sulfato ferroso (FeSO_4 , também conhecido como ferro vitriol), boratos e ferro quelatizado

(por exemplo, FeHEDTA). Aplicação de NaCl é conhecido como um meio de controle de plantas daninhas desde tempos antigos (Smith & Secoy, 1976; Timmons, 2005) e já foi aplicado em quantidades de várias toneladas por hectare para controlar plantas daninhas em cereais de inverno. Lukashyk et al. (2008) verificaram potencial (ainda que limitado) para controle de plantas daninhas com aplicação em pulverização do fertilizante Kainit, o qual contém mais de 50% de NaCl.

Salinidade excessiva nos solos induz nas plantas déficit hídrico (estresse osmótico), toxicidade iônica e desbalanço dos nutrientes (Marschner & Marschner, 2012). Pulverização de NaCl nas folhas causa problemas similares. Como NaCl é barato e abundante na natureza, vale a pena examinar seu potencial como ingrediente ativo para formulações de herbicidas naturais. A aplicação de NaCl é um pouco polêmica por causa do risco de salinização. No entanto, é necessário salientar que a aplicação de NaCl deve ser limitada a solos permeáveis, em condição de clima que proporcionem movimento de água vertical descendente. No Brasil, afóra para o bioma Caatinga, o problema de salinização não é esperado.

Pulverização de até 120 kg/ha de NaCl sem o uso de qualquer surfactante não causou nenhum dano sério à folhagem das plantas daninhas, em nossos estudos, no Brasil. No entanto, em algumas observações (testes não representativos dos autores) na Alemanha, *Urtica* sp. e *Rumex* sp. mostraram clara reação à aplicação de NaCl sem surfactante; a suscetibilidade observada pode ser devida a uma cutícula relativamente mais fina que permitiria a absorção do NaCl. Nos testes realizados no Brasil verificou-se que formulações com rompedores de membrana celular (RMC) combinados com NaCl potencializou seu efeito, resultando em melhor eficácia de controle, permitindo reduzir consideravelmente a dose de aplicação dos RMC de cerca de 200 L/ha para 25-50 L/ha. Cloreto de potássio (KCl) ou cloreto de magnésio (MgCl₂) com quantidades equivalentes de cloreto produziram resultados similares em estudos de Lukashyk et al. (2008) e poderiam ser usados como alternativas ao NaCl.

As plantas podem reagir ao estresse osmótico agudo pelo fechamento dos estômatos, acumulação de NaCl no apoplasto ou formação de solutos orgânicos para balancear o potencial osmótico no interior das células (Marschner; Marschner, 2012). Aparentemente, a cutícula foliar e a membrana celular permeabilizada por RMC torna ineficaz o fechamento dos estômatos enquanto o potencial osmótico acelera a dessecação. O estresse

osmótico danifica as plantas de maneira mais intensa quando o potencial de evapotranspiração está no máximo – próximo ao meio-dia. Aplicação ao final da tarde daria tempo para as plantas balancearem o potencial osmótico durante o período noturno e diminuir os danos. Observamos nos testes preliminares e ensaios de campo que todas as aplicações feitas no final da tarde foram relativamente ineficientes. Em dicotiledôneas, além do dano agudo, também observa-se algum efeito sistêmico com NaCl aparentemente sendo transportado aos meristemas. Mesmo meristemas laterais que não entram em contato com a solução pulverizada acabam morrendo, inibindo a rebrota das plantas daninhas (Figura 3b). NaCl é de custo neutro comparado aos RMC. O controle das plantas daninhas pode ser melhorado ainda mais pelo aumento da dose de NaCl, mas não se determinou qual a dose máxima considerando salinização e impacto nas culturas. Na maioria dos experimentos realizados, a dose por aplicação foi limitada a 50 kg/ha. A quantidade máxima aplicada durante o ciclo da cultura foi de 150 kg/ha sem efeito negativo no desenvolvimento das plantas da cultura.

Boro é um micronutriente essencial para o crescimento das plantas mas é tóxico para as plantas em concentrações elevadas. Em razão dessa toxicidade às plantas, o boro tem sido indicado como herbicida não seletivo (Monaco et al., 2002). O boro transloca pelo xilema (absorção principalmente radicular) e os sintomas de intoxicação iniciam-se com clorose no ápice e bordas das folhas. Segundo Camacho-Cristóbal et al. (2008), o mecanismo de toxicidade em plantas envolve alteração na estrutura da parede celular, e sua ligação com moléculas de ribose promove distúrbios metabólicos e alterações da divisão celular. Souza e Skora Neto (2013) verificaram que a aplicação em pulverização nas folhas de 15 e 30 kg/ha de bórax isoladamente causou baixa fitotoxicidade mas potencializou o efeito do limoneno, quando em mistura com este, no controle de picão-preto (*Bidens pilosa*) e nabiça (*Raphanus raphanistrum*).

Sulfato ferroso não foi testado em nossos estudos, mas é descrito brevemente para integralidade de conhecimento dos ingredientes ativos. Existem informações do uso de FeSO_4 como herbicidas na agricultura desde a metade do século 19 (Timmons, 2005; Smith & Secoy, 1976). Mesmo atualmente, herbicidas para controle de musgos e fertilizantes para gramados na Europa contêm FeSO_4 em formulação pó ou líquido. O efeito do FeSO_4 é presumivelmente pela ação cáustica no tecido foliar e toxicidade do ferro. Com solubilidade de 256 g/L FeSO_4 anidro, seria viável a pulverização de cerca

de 100 kg/ha em formulações de herbicidas naturais. Sulfato ferroso ocorre na natureza, mas é mais comumente produzido pela reação de ferro com ácido sulfúrico (H_2SO_4 , 20%) ou oxidação do mineral Pirita, com preço variando de US\$ 60-150/ton. Entretanto é conhecido por ser tóxico a humanos em contato com a pele (absorção cutânea, cáustico) e em contato com mucosas ou ingestão. Por ser de perfil ambiental positivo, se manuseado com cuidado pode ser agregado como ingrediente em herbicidas naturais, após estudos mais detalhados.

Fiesta (Neudorff company) é um herbicida registrado no Canadá para controle de folhas largas em gramados, especialmente dente-de-leão (*Taraxacum officinalis*), contendo ferro quelatizado como ingrediente ativo na forma de FeHEDTA e toxicidade de ferro como mecanismo de ação. Embora o agente quelante seja orgânico incluiu-se nesta seção de sais minerais. Este é outro caso raro de pulverização de herbicida natural com ação sistêmica. Entretanto, o agente quelatizante não é de origem natural o que dificulta sua certificação. Apesar do perfil ambiental, as doses de aplicação são altas com custo proibitivo para sistemas agrícolas mais extensivos.

Em resumo, sais inorgânicos são ingredientes ativos promissores em formulações de herbicidas naturais por causa, em geral, do seu baixo custo e seu previsível comportamento no ambiente. No caso do $FeSO_4$, há que se ter consciência e cuidados com sua toxicidade aguda.

Substâncias Fitotóxicas Naturais sistêmicas

Herbicidas convencionais consistem de ingredientes ativos que, em pequenas quantidades, podem matar as plantas pela interferência em reações enzimáticas chaves no interior da planta. Venenos potentes também são abundantes na natureza (Duke et al., 2000), mas raros são os exemplos de sucesso prático na agricultura para uso como herbicidas naturais (Copping & Duke, 2007). Os custos de desenvolvimento e registro para herbicidas, independentemente se convencionais ou naturais, são enormes. No momento, a procura e avaliação de substâncias naturais com alguma atividade herbicida é bastante utilizada pela agroindústria para encontrar novos sítios de ação. Usualmente, substâncias naturais com alguma atividade herbicida não são usadas para comercialização, mas como modelos para desenvolver derivados mais estáveis e eficientes (por exemplo, *cinmethylin* derivado de 1,4-cineol).

Ingredientes ativos com ação sistêmica oriundos de fontes naturais

necessitam de extração e concentração para aplicação em pulverização. A extração em quantidade suficiente é um processo difícil, tornando proibitivos os produtos resultantes. Atualmente, ingredientes ativos são somente explorados como aleloquímicos em coberturas mortas supressoras de plantas daninhas como aveia, centeio e outras (Almeida, 1988; Bhowmik & Inderjit, 2003; Cardina, 1995).

A rápida decomposição no ambiente é positiva do ponto de vista ambiental, mas reduz o efeito nos organismos-alvo (Duke et al., 2002). No sistema de plantio direto, grande parte do ingrediente ativo seria absorvida pela palha, e a rápida decomposição no solo limita o sucesso de substâncias com absorção radicular, ficando as aplicações foliares como a mais provável porta de entrada. Mesmo nesses casos, eles precisam ultrapassar as barreiras das plantas - cutícula e membranas celulares - para exercer seus efeitos.

Não existe, no momento, produto comercial com efeito sistêmico certificado para uso em AO. O único exemplo de um herbicida natural sistêmico já comercializado (mas não certificado para AO) é o Bialaphos (Duke et al., 2000).

Bialaphos (precursor de fosfinotricina)

Bialaphos (ou Bilanafos) é um tripeptídeo produzido na natureza pelas bactérias *Streptomyces viridichromogenes* e *S. hygroscopicus* e pode ser obtido por fermentação em meio de cultura. Bialaphos é mencionado como o único herbicida natural já comercializado (Dayan et al., 2009). Bialaphos é um pré-herbicida hidrolisado no interior da planta a 2-alanin e L-fosfinitricin. O glufosinato análogo sintético é uma mistura racêmica de L- e D-fosfinitricina e comercializado como herbicida convencional com nomes comerciais de Basta®, Liberty® e Finale® (Copping & Duke, 2007; Duke & Dayan, 2011). Bialaphos foi comercializado pela companhia *Meiji Seika* do Japão como Herbiace®, contudo o registro expirou em 2010. O efeito de Bialaphos e glufosinato é idêntico, mas o produto formulado com Bialaphos exibia um efeito inferior aos produtos à base de glufosinato. O preço de mercado era cerca de US\$ 200 por aplicação/ha (informação de *Meiji Seika*).

Bialaphos preenche muito bem muitos dos critérios para um herbicida natural. É um ingrediente natural que pode ser produzido em biofermentadores (Sato et al., 1993). Não foram encontrados efeitos carcinogênicos, teratogênicos e mutagênicos em estudos de longo prazo (estudos com glufosinato) indicando um perfil toxicológico aceitável (Ebert et

al., 1990). Suspeitas de toxicidade reprodutiva do glufosinato foram descartadas recentemente (Schulte-Hermann et al., 2006). Embora haja uma notável toxicidade do glufosinato em organismos aquáticos (Pan Pesticides Database - Chemicals), ele é raramente encontrado no ambiente (Scribner et al., 2007), indicando rápida decomposição e então potencial limitado para contaminação de água de superfície. O perfil ambiental, no geral, parece ser positivo.

A produção do herbicida glufosinato sintético é, certamente, mais barata que a produção de Bialaphos por biofermentação- razão pela qual a produção em biofermentadores não se mostrar atraente. Nunca houve comercialização de Herbiace® fora do Japão; não se sabe por que seu uso em AO nunca foi considerado, mas Bialaphos poderia ser revisto para certificação, isoladamente ou em formulações com outros ingredientes mencionados nesse capítulo. Novamente, o surfactante usado na formulação para auxiliar o Bialaphos penetrar no interior da planta deve ser selecionado criteriosamente.

Óleo de Manuka

Recentemente, foram publicados alguns resultados promissores com o óleo essencial da árvore manuka (*Leptospermum scoparium*) (Dayan et al., 2011). O óleo extraído das folhas mostrou atividade herbicida em pré e pós-emergência. Comparado com todos os outros óleos essenciais, a atividade herbicida deste óleo é maior e com doses de aplicação ao redor de 0,5 – 3 L/ha (obtido em casa de vegetação). Triquetonas presentes no óleo de manuka têm o mesmo sítio-alvo (p-hidroxifenilpiruvato dioxigenase – HPPD) dos herbicidas convencionais sintéticos sulcotriona e mesotriona (Dayan et al., 2011).

Dayan et al. (2011) verificaram que a combinação de 1% v/v de óleo de manuka com o herbicida natural *GreenmatchTX*® (óleo de citronela, 10 %) potencializou o efeito de controle das plantas daninhas. Em dicotiledôneas, somente observou-se o efeito de necrose (queima) associado ao óleo de citronela; contudo as monocotiledôneas também exibiram o efeito de branqueamento com redução da clorofila e carotenoides na rebrota e crescimento atrofiado. Este efeito foi especialmente marcante em capim-colchão (*Digitaria sanguinalis*) com mais de 90% de redução no peso seco. Dayan et al. (2011) reportam ainda um efeito pré-emergente do óleo de manuka em estudos com vasos em casa de vegetação, com as poáceas emergindo esbranquiçadas.

A árvore Manuka é uma espécie endêmica na Nova Zelândia e o óleo é bastante caro no momento (também usado como medicinal). Não é conhecida a existência de cultivo de Manuka para extração de óleo. Pela ação sistêmica e pelo pronunciado efeito em monocotiledôneas, o óleo de manuka parece ser uma das mais promissoras opções para ser usado como ingrediente ativo em formulação de herbicidas naturais ou para melhorar o efeito de outras formulações.

Outros ingredientes

Óleo fúsel, um subproduto da produção de etanol de cana-de-açúcar, é disponível em grande quantidade a custo baixo no Brasil e tem sido estudado por seu potencial como agente de controle de plantas daninhas (Azania et al., 2011). Doses de 375 e 500 L/ha resultaram em rápido murchamento seguido de amarelecimento e seca das plantas daninhas. As espécies *Ipomoea hederifolia*, *Ipomoea quamoclit*, *Euphorbia heterophylla*, *Digitaria* spp., *Cenchrus echinatus* e *Panicum maximum* foram eficientemente controladas logo após a emergência (Azania et al., 2010). Osipe et al. (2009) afirmam que foi obtido bom controle de *Digitaria insularis* e *Commelina benghalensis* nas doses de 600 a 800 L/ha. O promissor sobre o óleo de fúsel é que, diferentemente de formulações com RMC e NaCl, é aparentemente possível ter um bom controle de algumas espécies monocotiledôneas.

Outra substância mencionada para completar o quadro de ingredientes disponíveis é o farelo de glúten de milho (FGM). FGM é um subproduto do processamento de amido de milho ou produção de bioetanol o qual é produzido em larga escala nos EUA. É utilizado como forragem animal mas foi descoberto seu efeito herbicida pré-emergente (Christians, 1994). Os dados publicados sugerem que quantidades de mais de três toneladas de FGM aplicadas na superfície do solo tem propriedades herbicida, inibindo a emergência de plantas daninhas, o desenvolvimento das raízes e o crescimento inicial das plantas (Bingaman & Christians, 1995). O ingrediente ativo são cinco dipeptídeos (Gln-Gln, Ala-Asn, Ala-Gln, Gly-Ala, and Ala-Ala) (Liu & Christians, 1994). Como grande vantagem, não há toxicidade ambiental e nenhuma preocupação para a saúde humana.

Hidrolisação com enzimas torna o farelo de glúten solúvel em água para pulverização, aumentando a atividade herbicida (Liu et al., 1994). Mas, ainda, as doses recomendadas de FGM-hidrolisado para o controle de plantas daninhas se situam entre 1 e 3 toneladas/ha. Os preços são em torno de US\$ 675 por tonelada (The Wall Street Journal, 2014) e com a aplicação de doses

normais resultaria algo ao redor de US\$ 2.700/ha. Portanto, novamente, o custo para uso em sistemas agrícolas são proibitivos e aplicação em larga escala não é realista. O farelo de glúten de milho é, portanto, mencionado para dar ideia geral de substâncias fitotóxicas naturais existentes, muito embora o seu uso ainda seja limitado para jardins ou manutenção de gramados em parques.

Aspectos agronômicos

Introdução

Grande parte da literatura em herbicidas naturais é baseada em resultados de experimentos de laboratório com testes de germinação e ensaios com discos de folhas (Tworkoski, 2002; Vaid et al., 2010; Bainard et al., 2006; Batish et al., 2004). Estes estudos não possuem poder interpretativo para uso potencial prático na agricultura e podem, no máximo, avaliar substâncias por sua citotoxicidade comparativa ou habilidade para afetar membranas celulares. Alguns estudos mais relevantes tratam da aplicação de substâncias nas plantas daninhas em casas de vegetação (Abouziena et al., 2009), mas literatura científica de eficácia e potencial de herbicidas naturais em condição de campo é escassa.

Boyd e Brennan (2006) mostraram que doses de óleo de cravo de 12 a 60 L/ha foram efetivas para o controle de espécies dicotiledôneas, mas insuficientes para o controle de centeio em ensaios com vasos ao ar livre e calculou custos proibitivos de aplicação, em torno de US\$ 880/ha.

Young (2004) discute o uso de óleo de pinho para controle de plantas daninhas em beira de estradas. Aplicações repetidas de 50 a 70 kg/ha de óleo de pinho com duas semanas de intervalo entre as aplicações deram resultados insatisfatórios. James et al. (2002) aplicaram doses de 50 a 100 kg/ha de óleo de pinho e o resultado foi semelhante ao glifosato e ao glufosinato em plantas recém-emergidas, mas afirma que plantas daninhas já estabelecidas necessitavam doses mais altas para obter bom controle.

Como não há praticamente literatura científica em controle de plantas daninhas nas culturas com herbicidas naturais em campo, conduziram-se estudos de avaliação (*screening*) de formulações de herbicidas naturais em experimentos de campo em 2012 e 2013, no Iapar em Londrina e Ponta Grossa, PR. Após definição de formulações, estudou-se a eficácia de controle de formulações contendo óleos essenciais e NaCl em diferentes espécies de plantas daninhas nas culturas de soja e feijão. Além da formulação e suscetibilidade das espécies, verificou-se que também o número, o intervalo e o momento das aplicações são aspectos importantes.

Suscetibilidade das plantas

Os resultados de testes de triagem com diferentes formulações de RMC, isolado ou combinado com NaCl, mostraram que o padrão de suscetibilidade das espécies é constante, independentemente da formulação aplicada. O estágio de desenvolvimento das plantas daninhas teve maior influência na suscetibilidade. As espécies mais suscetíveis foram amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*), caruru (*Amaranthus* sp), apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), losna-branca (*Parthenium hysterophorus*) e picão-preto (*Bidens pilosa*) (Figura 3b). Verificou-se suscetibilidade intermediária em corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*), poaia-branca (*Richardia brasiliensis*) e trapoeraba (*Commelina benghalensis*), e plantas recém-emergidas de capim-marmelada (*Brachiaria plantaginea*) (< 2 folhas) e nabiça (*Raphanus raphanistrum*) (< 4 folhas). Relativamente insensíveis foram as poáceas com mais de 2 folhas, como *Brachiaria plantaginea* (Figura 3a), capim-colchão (*Digitaria ciliaris*) e *Raphanus raphanistrum* (> 4 folhas). As espécies suscetíveis *Alternanthera tenella* e *Amaranthus* sp. podem ser controladas com uma solução de NaCl com pequena adição de surfactante sem a necessidade de grande quantidade de óleo essencial. De maneira geral, o controle deve ocorrer até o estágio de quatro folhas e logo após a emergência para espécies menos suscetíveis. A margem de tempo para um bom controle com os herbicidas naturais testados é bastante estreita. Para dar conta de emergência irregular das plantas daninhas no sistema plantio direto, aplicações repetidas são consideradas necessárias.

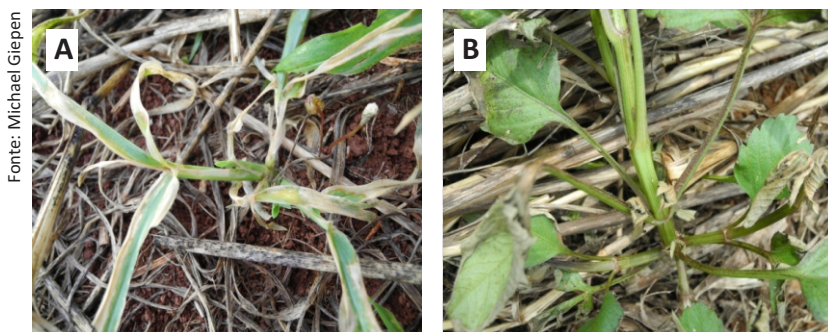


Figura 3. Efeito da formulação com RMC-NaCl em mono e dicotiledôneas. Em capim-marmelada (*B. plantaginea*) a recuperação da planta é evidente (A), enquanto meristemas de picão-preto (*B. pilosa*) estão necrosados (B).

Concentração versus Volume

As formulações comerciais de herbicidas à base de RMC são recomendadas com vazão de aplicação ao redor de 1.000 L/ha, possivelmente para obter uma cobertura completa da folhagem e porque a evaporação do óleo essencial deve ser neutralizada para prolongar o efeito. Em um dos testes, avaliou-se o efeito da formulação de óleo de pinho em duas concentrações (15 e 30%) e duas vazões de calda de aplicação (300 e 600 L/ha) em capim-marmelada (*B. plantaginea*) e corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*). A Figura 4 resume o efeito dos tratamentos pela concentração, diluição e volume de pulverização. Nesse teste, o aumento da dose de aplicação e do volume de pulverização não melhorou muito o controle, mas a concentração teve um grande efeito. Curiosamente, comparando a mesma quantidade de ingrediente ativo (mesmo custo) diluído em 300 e 600 L/ha de calda de pulverização, o tratamento com maior concentração apresentou claramente um melhor controle. Levando em consideração estes resultados, é possível reduzir a quantidade total de óleo essencial e custo aplicando-se formulações mais concentradas.

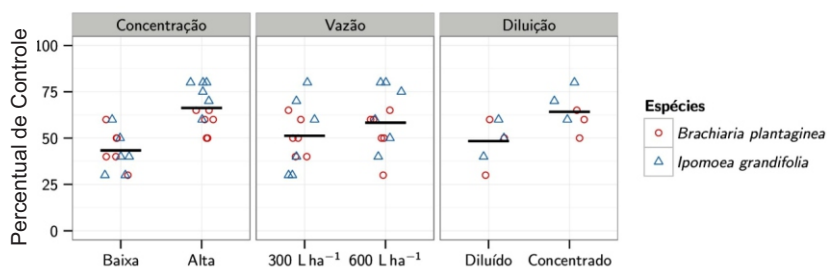


Figura 4. Teste de avaliação com óleo de pinho. Os dados estão apresentados resumidamente em grupos ortogonais de **concentração** (15 % e 30 % de óleo de pinho em 300 e 600 L/ha), **volume de aplicação** e **diluição** (45 L/ha de óleo de pinho em 300 e 600 L/ha). Barras horizontais representam a “média sobre as espécies”.

Número de aplicações e intervalo entre aplicações

Em ensaios de campo, uma única aplicação nunca deu resultados satisfatórios. Para a soja, duas a três aplicações foram necessárias (Giepen et al., 2014), em feijão de segunda safra (safrinha), uma a duas aplicações (Giepen, 2015). A duração do intervalo entre as aplicações é crucial para se obter bons resultados. Em um ensaio, um intervalo de cerca de sete dias foi escolhido, em meados do verão; na segunda aplicação plantas tinham quase

retornado ao seu tamanho inicial, proporcionando baixo nível controle. Para folhas largas, a segunda aplicação deve ser logo após o início do rebrote. Dependendo da temperatura, este intervalo é de cerca de quatro dias em meados do verão (novembro/dezembro), até oito dias para períodos de temperaturas mais baixas.

Condições ambientais

Brainard et al. (2013) observaram que a nebulosidade não afetou a eficácia de controle das formulações mas que a umidade relativa do ar foi um fator importante. Alta umidade melhorou o controle, o que pode ser causado pela menor evaporação da solução pulverizada, prolongando então o tempo para o ingrediente ativo atuar.

O horário ideal do dia não foi examinado como fator experimental, mas observamos muitas vezes que a eficácia dependeu das condições ambientais e horário do dia, pelo menos em formulações contendo NaCl (as quais foram testadas a maior parte das vezes). Aplicações ao final da tarde usualmente não foram tão efetivas quanto aplicações no período da manhã ou próximo ao meio-dia). É evidente que, comparando a formulações puras de RMC (óleo de pinho ou limoneno), as formulações contendo NaCl contribuem com um estresse osmótico à toxicidade aguda. Próximo ao meio-dia, com altas temperatura, o choque causado às plantas é maior. De fato o murchamento começa segundos após a aplicação, e o fechamento dos estômatos não consegue proteger a plantas como no início da manhã ou no final da tarde. Aplicações ao final da tarde também permitem às plantas formar solutos osmóticos para proteger-se do estresse osmótico, o que pode explicar porque o controle é baixo nessas situações. Apesar da aplicação ao meio-dia ser propensa a ventos térmicos mais fortes, deriva não é um problema em aplicação em faixas perto do chão com protetor.

Equipamentos

As substâncias mencionadas possuem um efeito de necrose (queima) não seletivo, portanto as plantas da cultura precisam ser protegidas por um anteparo. Em pós-emergência inicial, imediatamente após a emergência da cultura, fica difícil fazer a pulverização, a não ser somente com aplicação em banda, no centro da entrelinha. Anteparos protetivos cobrindo grande parte da linha são viáveis após a cultura (soja e feijão) atingir o estágio de 2 trifólios (V2-V3) (Figura 5).



(A) Esquerda: aplicação do herbicida natural - Direita: testemunha (B) Aplicação em faixa com proteção

Figura 5. Efeito de herbicidas naturais no controle de plantas daninhas e na folhagem da cultura (A) e as substâncias usadas como ingrediente ativo não são seletivas, sendo necessário evitar atingir a folhagem das culturas (B).

Outra consideração muito importante é que as formulações de herbicidas naturais contendo RMC e/ou sais apresentam problemas com o equipamento de pulverização. Óleos essenciais e emulsificantes dissolvem e afetam os tubos e vedações de borracha, causando vazamentos frequentes. A troca de vedação de borracha por silicone pode solucionar este problema. NaCl na solução de pulverização é corrosivo das partes metálicas. Portanto, o material teria que ser inox (sem solucionar o problema totalmente) ou outro material, e os bicos, preferencialmente de porcelana. Pulverizadores normais utilizados pelos agricultores não são apropriados para algumas formulações de herbicidas naturais e irão sofrer corrosão e deteriorar rapidamente, o que pode desencorajar os agricultores a aplicar os produtos.

Perspectivas

Muitos dos herbicidas naturais certificados para AO e divulgados como ambientalmente amigáveis apresentam deficiências graves. O ingrediente ativo está presente na natureza, mas em muitos casos são sintéticos (por exemplo, ácido acético). Os surfactantes presentes nestes produtos são, provavelmente em todos os casos, sintéticos e aplicados em altas doses. Além disso, apresentam-se como ingredientes inertes, embora as concentrações constantes possuam um efeito similar na cutícula da folha e membranas celulares como o ingrediente ativo e alguns possuam um perfil ambiental e toxicológico crítico. Pode-se, em alguns casos, questionar se são

realmente mais amigáveis ambientalmente que alguns dos herbicidas convencionais.

O efeito de controle das plantas daninhas de produtos registrados (certificados) é ainda bastante baixo, com custo extremamente alto, e portanto não relevante para a agricultura em geral (no exterior). No Brasil, ainda não há produtos orgânicos registrados para controle de plantas daninhas.

A agricultura orgânica necessita de novos produtos para poder solucionar alguns entraves para maior adoção do sistema, mas a dificuldade para a certificação e aplicação de herbicidas naturais na prática agrícola é bastante grande. Para avançar no custo-eficiência, em primeiro lugar, o efeito de formulações tem de ser melhorado. Algumas opções de ingredientes estão disponíveis para ser adicionados a formulações, para diminuir as quantidades de ingredientes ou substituir produtos caros, tais como os óleos essenciais, mas que precisam ser mais bem estudados, como o, biodiesel. Outros sais minerais, além do NaCl, como outros cloretos, por exemplo $MgCl_2$, $CaCl_2$ e $FeSO_4$, poderiam ser estudados isoladamente ou em associação com os RMC. De um modo geral, a combinação de diferentes ingredientes ativos com os rompedores de membranas celulares parece promissora. Como os RMC aumentam a permeabilidade da cutícula, esta porta de entrada poderia ser também estudada com maiores detalhes, com uso de substâncias alelopáticas ou os ingredientes ativos sistêmicos mencionados neste capítulo. A eficiência do óleo de manuka com RMC já foi demonstrada, mas Bialaphos ou extratos alelopáticos, tais como *artemisin* ou *parthenin* (Belz et al., 2007; Chen et al., 1991), poderiam também ser avaliados.

Muitas possibilidades permanecem ainda não testadas e podem resultar em uma formulação de herbicida natural com custo/efetividade satisfatório.

A barreira para certificação na agricultura orgânica é bastante crítica. Primeiramente todos os ingredientes devem ser de origem natural. Óleo de pinho é um dos mais promissores óleos essenciais para uso como herbicida natural, mas é um ingrediente semissintético, pois é normalmente derivado por oxidação de α -pineno. Ácido pelargônico é sempre de origem sintética; ácido acético também é normalmente sintetizado. Os principais emulsificantes também não são de origem natural. Biodiesel também é considerado não natural; ainda, pelo menos, neste caso poderia ser questionado pois há somente um processo de esterificação envolvido. Tudo

depende de a agricultura orgânica considerar até onde um produto pode ser considerado natural. A transesterificação de óleo de soja a óleo metilado é considerado como sendo síntese (saponificação seguida de esterificação com metanol), mas um simples sabão de potássio (somente saponificação) feito a partir de óleo de plantas também poderia ser considerado sintético (NaOH e KOH não ocorrem na natureza na forma mineral). O critério “origem natural” parece ser ainda mais difícil de observar quando se fala de surfactantes. Mas se a meta de obter um surfactante natural eficiente não é atingida, pelo menos exceções sensíveis poderiam ser admitidas. Se emulsificantes sintéticos fossem utilizados, eles deveriam ser rigorosamente avaliados quanto ao seu comportamento ambiental e toxicológico. Surfactantes feitos de ingredientes naturais, tais como os alquil poliglicosídeos (PEG, feitos de açúcar, amido e óleos vegetais), que já demonstraram sua baixa toxicidade (Messinger et al., 2007) por seu amplo uso na indústria de cosméticos e alimentos, poderiam constituir exceções.

Uma medida importante seria eliminar o termo “inertes” da formulação de herbicidas naturais, o que permitiria estudos toxicológicos mais adequados para o processo de certificação.

Ainda na avaliação de herbicidas naturais para a certificação em agricultura orgânica, um equilíbrio global do sistema deve ser considerado, considerando aspectos como os benefícios da proteção do solo, a redução do consumo de combustível, a penosidade do trabalho, a carência de mão de obra e outros.

Referências

ABOUZIENA, H. F.; OMAR, A. A.; SHARMA, S. D.; SINGH, M. Efficacy comparison of some new natural-product herbicides for weed control at two growth stages. **Weed Technology**, v. 23, n. 3, p. 431-437, 2009.

ALMEIDA, F. S. **A alelopatia e as plantas**. Londrina: Iapar, 1988. 60 p. (Iapar. Circular, 53).
ANDROCIOLI, H. G. **Fitotoxicidade de óleo vegetal cru (óleo de amendoim)**. Iapar, 2015. Comunicação pessoal.

AZANIA, A. A. D. P. M.; AZANIA, C. A. M.; MARQUES, M. O.; PAVANI, M. D. C. M. D. **erbicidal potentiality of fusel oil**. 2011. Disponível em:
<<http://www.intechopen.com/books/herbicides-and-environment/herbicidal-potentiality-of-fusel-oil>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

AZANIA, C.; AZANIA, A.; PIZZO, I.; SCHIAVETTO, A. Resposta de plantas daninhas ao óleo fúsel aplicado em pós-emergência inicial e tardia. **Planta Daninha**, v. 28, p. 541-549, 2010.

BAINARD, L.; ISMAN, M.; UPADHYAYA, M. Phytotoxicity of clove oil and its primary constituent eugenol and the role of leaf epicuticular wax in the susceptibility to these essential oils. **Weed Science**, v. 54, n. 5, p. 833-837, 2006.

BAKER, J. The effects of oils on plants. **Environmental Pollution**, v. 1, n. 1, p. 27-44, 1970.

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils: a review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008.

BARTNIK, F. H. G. Interaction of anionic surfactants with proteínas, enzymes, and membranes. In: GLOXHUBER, C.; KUNSTLER, K. (Ed.). **Anionic surfactants: biochemistry, toxicology, dermatology**. CRC Press, 1992. v. 43.

BATISH, D. R.; SETIA, N.; SINGH, H. P.; KOHLI, R. K. Phytotoxicity of lemon-scented eucalypt oil and its potential use as a bioherbicide. **Crop Protection**, v. 23, n. 12, p. 1209-1214, 2004.

BELZ, R.; REINHARDT, C.; FOXCROFT, L.; HURLE, K. Residue allelopathy in *Parthenium hysterophorus* L.: does parthenin play a leading role? **Crop Protection**, v. 26, n. 3, p. 237-245, 2007.

BINGAMAN, B.; CHRISTIANS, N. Greenhouse screening of corn gluten meal as a natural control product for broadleaf and grass weeds. **HortScience**, v. 30, n. 6, p. 1256-1259, 1995.

BHOWMIK, P. C.; INDERJIT. Challenges and opportunities in implementing allelopathy for natural weed management. **Crop Protection**, Guildford, v. 22, n. 4, p. 661-671, 2003.

BOYD, N.; BRENNAN, E. Burning nettle, common purslane, and rye response to a clove oil herbicide. **Weed Technology**, v. 20, p. 646-650, 2006.

BRAINARD, D. C.; CURRAN, W. S.; BELLINDER, R. R.; NGOUAJIO, M.; VANGESSEL, M. J.; HAAR, M. J.; LANINI, W. T.; MASIUNAS, J. B. Temperature and relative humidity affect weed response to vinegar and clove oil. **Weed Technology**, v. 27, n. 1, p. 156-164, 2013.

CAMACHO-CRISTÓBAL, J. J.; REXACH, J.; GONZÁLES-FONTES, A. Boron in plants: deficiency and toxicity. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 50, n. 10, p. 1247-1255, 2008.

CARDINA, J. Biological weed management. In: SMITH, A. E. (Ed.). **Handbook of weed management systems**. Marcel Dekker, 1995. p. 279-341.

CARLSSON, D.; SUPRUNCHUK, T.; WILES, D. Photooxidation of unsaturated oils: effects of singlet oxygen quenchers. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 53, n. 10, p. 656-660, 1976.

CHEN, P.; POLATNICK, M.; LEATHER, G. Comparative study on artemisinin, 2, 4-D and glyphosate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39, n. 5, p. 991-994, 1991.

CHRISTIANS, N. E. **Preemergence weed control using corn gluten meal**. U.S. Patent RE34594 E. 26 abr. 1994.

COPPING, L.; DUKE, S. Natural products that have been used commercially as crop protection agents. **Pest Management Science**, v. 63, n. 6, p. 524-554, 2007.

COWLES, R.; COWLES, E.; MCDERMOTT, A.; RAMOUTAR, D. Inert formulation ingredients with activity: toxicity of trisiloxane surfactant solutions to twospotted spider mites (Acari: Tetranychidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 93, n. 2, p. 180-188, 2000.

COX, C.; SURGAN, M. Unidentified inert ingredients in pesticides: implications for human and environmental health. **Environmental Health Perspectives**, v. 114, n. 12, p. 1803-1806, 2006.

CRAFTS, A. S.; REIBER, H. G. **Herbicidal properties of oils**. University of California, 1948.

DAYAN, F.; HOWELL, J.; MARAIS, J.; FERREIRA, D.; KOIVUNEN, M. Manuka oil, a natural herbicide with preemergence activity. **Weed Science**, v. 59, n. 4, p. 464-469, 2011.

DAYAN, F. E.; CANTRELL, C. L.; DUKE, S. O. Natural products in crop protection. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, v. 17, n. 12, p. 4022-4034, 2009.

DUKE, S. O.; DAYAN, F. E.; ROMAGNI, J. G.; RIMANDO, A. M. Natural products as sources of herbicides: current status and future trends. **Weed Research**, v. 40, n. 1, p. 99-111, 2000.

DUKE, S. O.; DAYAN, F. E.; RIMANDO, A. M.; SCHRADER, K.; ALIOTTA, G.; OLIVA, A.; ROMAGNI, J. G. Chemicals from nature for weed management. **Weed Science**, v. 50, p. 138-151, 2002.

DUKE, S. O.; DAYAN, F. E. Modes of action of microbially-produced phytotoxins. **Toxins**, v. 3, n. 8, p. 1038-1064, 2011.

EBERT, E.; LEIST, K. H.; MAYER, D. Summary of safety evaluation toxicity studies of glufosinate ammonium. **Food and Chemical Toxicology**, v. 28, n. 5, p. 339-349, 1990.

EUROPEAN PARLIAMENT. **Directive 2003/53/EC of the European Parliament and of the Council**. 18 June 2003.

EVANS, G.; BELLINDER, R. The potential use of vinegar and a clove oil herbicide for weed control in sweet corn, potato, and onion. **Weed Technology**, v. 23, p. 120-128, 2009.

EVANS, G.; BELLINDER, R.; GOFFINET, M. Herbicidal effects of vinegar and a clove oil product on redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). **Weed Technology**, v. 23, n. 2, p. 292-299, 2009.

GAUVRIT, C.; CABANNE, F. Oils for weed control: uses and mode of action. **Pesticide Science**, Oxford, v. 37, n. 2, p. 147-153, 2006.

GIEPEN, M. **Optimising occasional direct-seeding of grain legumes by intra-row fertilization and use of natural herbicide**. 2015. Tese (Doutorado) - Institute of Organic Agriculture, Bonn University, 2015.

GIEPEN, M.; SKORA NETO, F.; KÖPKE, U. Controlling weeds with natural phytotoxic substances (NPS) in direct seeded soybean. **Building Organic Bridges**, v. 2, p. 469-472, 2014.

HAZEN, J. L. Adjuvants: terminology, classification, and chemistry. **Weed Technology**, v. 14, p. 773-784, 2000.

IOANNOU, E.; KOUTSAVITI, A.; TZAKOU, O.; ROUSSIS, V. The genus Pinus: a comparative study on the needle essential oil composition of 46 pine species. **Phytochemistry Reviews**, v. 13, n. 4, p. 741-768, 2014.

JAMES, T.; RAHMAN, A.; TROLOVE, M.; FRITH, H. Efficacy of a certified organic herbicide based on pine essence. **New Zealand Plant Protection**, v. 55, p. 207-212, 2002.

LEDERER, B.; FUJIMORI, T.; TSUJINO, Y.; WAKABAYASHI, K.; BÖGER, P. Phytotoxic activity of middle-chain fatty acids II: peroxidation and membrane effects. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 80, n. 3, p. 151-156, 2004.

LIU, D.; CHRISTIANS, N. Isolation and identification of root-inhibiting compounds from corn gluten hydrolysate. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 13, p. 227-230, 1994.

LIU, D. L. Y.; CHRISTIANS, N. E.; GARBUTT, J. T. Herbicidal activity of hydrolyzed corn gluten meal on three grass species under controlled environments. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 13, n. 4, p. 221-226, 1994.

LUKASHYK, P.; BERG, M.; KÖPKE, U. Using kainite for controlling *Vicia hirsuta* (L.) S. F. Gray in Organic Agriculture. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 21, p. 419-424, 2008.

MARSCHNER, H.; MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Elsevier, 2012.

MESSERSCHMIDT, O.; JANKAUSKAS, J. **Limonene-containing herbicide compositions, herbicide concentrate formulations and methods for making and using same for organic production**. Patent 8153561. 2012.

MESNAGE, R.; BERNAY, B.; SÉRALINI, G. E. Ethoxylated adjuvants of glyphosate-based herbicides are active principles of human cell toxicity. **Toxicology**, v. 313, n. 2, p. 122-128, 2013.

MESSINGER, H.; AULMANN, W.; KLEBER, M.; KOEHL, W. Investigations on the effects of alkyl polyglucosides on development and fertility. **Food and Chemical Toxicology**, v. 45, n. 8, p. 1375-1382, 2007.

MONACO, T. J.; VELLER, S. C.; ASHTON, F. M. **Weed science: principles and practices**. 4. ed. John Wiley & Sons, 2002.

OAKES, D.; POLLAK, J. The in vitro evaluation of the toxicities of three related herbicide formulations containing ester derivatives of 2,4,5-T and 2,4-D using sub-mitochondrial particles. **Toxicology**, v. 151, n. 1, p. 1-9, 2000.

OSIPE, R.; BRAIDO, A.; BALDINI, V.; GANDOLFO, M. A. Avaliação da eficiência de diferentes doses de óleo fúsel no controle de *Digitaria insularis* (capim-amargoso) e *Commelina benghalensis* (trapoeira). **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 1042-1045, 2009.

SATOH, A.; MURAKAMI, T.; TAKEBE, H.; IMAI, S.; SETO, H. Industrial development of bialaphos, a herbicide from the metabolites of *Streptomyces hygroscopicus* SF1293. **Actinomycetologica**, v. 7, n. 2, p. 128-132, 1993.

SCHULTE-HERMANN, R.; WOGAN, G. N.; BERRY, S. C.; BROWN, N. A.; CZEIZEL, A.;

GIAVINI, E.; HOLMES, L. B.; KROES, R.; NAU, H.; NEUBERT, D. Analysis of reproductive toxicity and classification of glufosinate-ammonium. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 44, n. 3, p. 1-76, 2006.

SCRIBNER, E. A.; BATTAGLIN, W. A.; GILLIOM, R. J.; MEYER, M. T. **Concentrations of glyphosate, its degradation product, aminomethylphosphonic acid, and glufosinate in ground-and surface-water, rainfall, and soil samples collected in the United States, 2001-06**. 2007. 111 p. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2007-5122.

SINGH, H. P.; BATISH, D. R.; KAUR, S.; ARORA, K.; KOHLI, R. K. α -Pinene inhibits growth and induce oxidative stress in roots. **Annals of Botany**, London, v. 98, n. 6, p. 1261-1269, 2006.

SINGH, H. P.; BATISH, D. R.; SETIA, N.; KOHLI, R. K. Herbicidal activity of volatile oils From *Eucalyptus citriodora* against *Parthenium hysterophorus*. **Annals of Applied Biology**, v. 146, n. 1, p. 89-94, 2005.

SMITH, A. E.; SECOY, D. Early chemical control of weeds in Europe. **Weed Science**, v. 24, p. 594-597, 1976.

SOARES, A.; GUIEYSSE, B.; JEFFERSON, B.; CARTMELL, E.; LESTER, J. Nonylphenol in the environment: a critical review on occurrence, fate, toxicity and treatment in wastewaters. **Environment International**, v. 34, n. 7, p. 1033-1049, 2008.

SOUZA, P. I. S. D.; SKORA NETO, F. **Controle de plantas daninhas pela aplicação de ingredientes fitotóxicos naturais**. Iapar, 2013. Relatório do Programa de Iniciação Científica do Iapar.

THE WALL STREET JOURNAL. **Market data center**. Disponível em: <<http://online.wsj.com/mdcapp/public/page/marketsdata.html>>. Acesso em: 15 dez. 2014.

TIMMONS, F. A history of weed control in the United States and Canada. **Weed Science**, v. 5, p. 748-761, 2005.

TWORKOSKI, T. Herbicide effects of essential oils. **Weed Science**, v. 50, n. 4, p. 425-431, 2002.

VAID, S.; BATISH, D. R.; SINGH, H. P.; KOHLI, R. K. Phytotoxic effect of eugenol towards two weedy species. **The Bioscan**, v. 5, n. 3, p. 339-341, 2010.

VAUGHN, S. F.; HOLSER, R. A. Evaluation of biodiesels from several oilseed sources as environmental friendly contact herbicides. **Industrial Crops and Products**, v. 26, n. 1, p. 63-68, 2007.

WEIDENHAMER, J. D.; MACIAS, F. A.; FISCHER, N. H.; WILLIAMSON, G. B. Just how insoluble are monoterpenes? **Journal of Chemical Ecology**, v. 19, p. 1799-1807, 1993.

YING, G. G.; WILLIAMS, B.; KOOKANA, R. Environmental fate of alkylphenols and alkylphenol ethoxylates: a review. **Environment International**, v. 28, n. 3, p. 215-226, 2002.

YOUNG, B. A. **Compendium of herbicide adjuvants**. Southern Illinois University, 2008.

YOUNG, S. Natural product herbicides for control of annual vegetation along roadsides. **Weed Technology**, v. 18, p. 580-587, 2004.

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 & Sydenham 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 *Maravalia 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 Havaí (Killgore et al., 1997) e, posteriormente, com maior sucesso, no Taiti para o controle de *Miconia calvenscens* 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 mico-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 (*Conyza* 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, consequentemente 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* Rosskopf, 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 mico-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 mico-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 cassicola* 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. Controle 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 bioherbicidal 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.; PETTERSEN, 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 potencial mycoherbists 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 Manegement*, 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 calvenscens* 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 calvenscens*, 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 Wiley & 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 chlamidosporiformans* (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 chlamidisporiformans***. 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 recurvifoliae*. **Australasian Plant Pathology**, v. 35, p. 347-353, 2006.

Solarização do solo e controle de plantas daninhas

José Roberto Antoniol Fontes

A Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) prevê uma população de 9 bilhões de pessoas vivendo no Mundo em 2050, urbanizada e com maior poder aquisitivo do que o padrão atual. A urbanização vem e continuará ocupando áreas economicamente muito valorizadas, hoje destinadas à produção agropecuária e localizadas nas adjacências dos centros urbanos (agricultura periurbana ou “cinturão” verde). Essas características imporão uma mudança significativa nos padrões de consumo de alimentos e de bens e serviços relacionados à agricultura. Apenas a produção de alimentos de origem vegetal, hoje estimada em cerca de 8 bilhões de toneladas ao ano, deverá atingir a marca de 12,8 bilhões de toneladas para atender o consumo (FAO, 2013). Decorrente da evolução tecnológica vivenciada nas últimas décadas na agricultura permitiu aumentar a produção agropecuária em taxas surpreendentes, com aumento de produtividade, redução da força de trabalho por unidade de alimento produzida e, mais recentemente, menor necessidade de incorporação de áreas novas e redução de desmatamento (Balbinot Jr. et al., 2009;).

Um dos avanços tecnológicos que mais favoreceram o trabalho e a rentabilidade no meio rural foi o emprego de herbicidas para controle de plantas daninhas em culturas anuais, perenes e pastagens, em todos os estratos sócio-econômicos de produção agropecuária (Gianessi & Williams, 2011 a; Gianessi & Williams, 2011 b; Price & Kelton, 2011; Gianessi, 2013). Porém, o uso de herbicidas, e de demais agrotóxicos, tem promovido debates a respeito de impactos em compartimentos ambientais como águas superficiais e subterrâneas, em organismos não-alvos (Moore et al., 2001; Geng et al., 2013) e na saúde humana (Pedlowski et al., 2012). Além disso, a utilização crescente dos herbicidas tem provocado aumento número de casos de biótipos de plantas daninhas resistentes, fato que tem preocupado produtores e técnicos em razão do número limitado de mecanismos de ação de herbicidas disponíveis no mercado para o controle de plantas daninhas (Pannacci & Tei, 2014). Em razão destas preocupações a sociedade vem adotando uma postura mais crítica em relação à maneira como os alimentos vêm sendo produzidos, cobrando das cadeias produtivas e de comercialização maior rigor na observância dos preceitos da produção agropecuária baseada

em boas práticas agrícolas (Batish et al., 2008).

Nos sistemas de produção agrícola que adotam a redução/eliminação do uso de herbicidas ou no caso daqueles onde as culturas têm pouco ou nenhum suporte fitossanitário (em sua maioria hortaliças) as plantas daninhas são consideradas a principal ameaça à produção economicamente sustentável (Ricci et al., 2006; Uchino et al., 2009; Pannacci & Tei, 2014).

Nas áreas agrícolas as comunidades daninhas são formadas pela flora emergida e pelas sementes e propágulos vegetativos viáveis existentes no solo. Estes últimos são organismos vivos e metabolicamente ativos, considerados a fonte primária de infestação das áreas agrícolas, porém, a maioria desses propágulos (sobretudo as sementes) permanece nessa forma mesmo quando as condições são favoráveis à germinação (dormência) (Ghersa & Martínez-Ghersa, 2000), situação que torna a maioria das estratégias de controle ineficazes contra as plantas daninhas ao longo do tempo (Batlla & Benech-Arnold, 2007). Deve-se considerar ainda que a germinação de sementes de plantas daninhas é um processo complexo que depende da interação de muitos fatores relacionados às espécies (níveis de hormônios, estágio de maturação, condições sanitárias) e ao ambiente (temperatura, umidade e níveis de oxigênio no solo) (Travlos et al., 2009; Martins et al., 2010).

Durante muito tempo a ação mais utilizada para controle eficiente de organismos de solo prejudiciais às plantas cultivadas foi a fumigação com brometo de metila, mas o seu uso foi banido em vários países do mundo e obrigou agricultores e pesquisadores a desenvolver e avaliar outras estratégias de controle para controle de pragas de solo, entre elas a solarização (Webster, 2003).

Dos métodos de controle de plantas daninhas empregados na agricultura a solarização é considerada uma das estratégias de eficácia mais elevada, aproveitando a radiação solar abundante para promover elevação passiva de temperatura da camada mais superficial do solo a níveis letais para as sementes ou estruturas de reprodução vegetativas dessas plantas, dormentes ou não (Johnson III et al, 2007; Candido et al., 2011). Katan et al. (1976) relataram que a técnica começou a ser utilizada em Israel, adotada por agricultores e recomendada por extensionistas no norte desse país para controlar patógenos de solo durante a época mais quente do ano.

O aquecimento do solo é resultante da passagem de radiação de ondas curtas através de filmes plásticos transparentes colocados sobre a

superfície do solo que aquecem a água e as partículas do solo por processo convectivo, com emissão de radiação de ondas longas que não atravessam o plástico em sentido contrário (Egley, 1990; Ham & Kluitenberg, 1994). O seu modo de ação é complexo, envolvendo ação direta da temperatura na destruição de tecidos dos propágulos (danos às membranas celulares, atividade de enzimas e no metabolismo de proteínas), indução da superação da dormência das sementes e danos às plântulas (Singla et al., 1997; Cohen et al., 2008), além de possíveis causas indiretas, uma delas é a formação de fissuras e pontuações no tegumento das sementes, que permite a ação de patógenos, e assim provocar infecção e morte das mesmas (Halloin, 1983; Kremer, 1986) e formação de compostos tóxicos voláteis que se acumulam sob o filme plástico que provocam injúrias nos propágulos de plantas daninhas (Gamliel & Stapleton, 1993). Nos solos submetidos à solarização são registradas concentrações muito elevadas de dióxido de carbono (Kuva et al., 1995; Marengo & Lustosa, 2000), fator que pode induzir dormência nas sementes de certas espécies daninhas e redução da emergência de plântulas (Mayer & Poljakoff-Mayber, 1989).

Embora a solarização seja considerada uma excelente estratégia de controle de plantas daninhas, a sua eficácia está relacionada a alguns fatores. O primeiro é a suscetibilidade diferenciada das espécies daninhas à solarização, algumas suscetíveis, outras tolerantes, algumas insensíveis e outras estimuladas (Linke, 1994; Marengo & Lustosa, 2000; Webster, 2003; Candido et al., 2011). O segundo diz respeito às características climáticas (insolação diária e acumulada) nos períodos que antecedem a utilização de áreas para o plantio, sobretudo a cobertura de nuvens (Peachey et al., 2001). O terceiro, o aquecimento da camada de solo não é uniforme, havendo variação de temperatura nos sentidos horizontal e vertical, decorrentes das diferenças entre os materiais utilizados para a fabricação dos filmes plásticos e dos conteúdos de água e de matéria orgânica do solo, de sua textura e concentração dos gases difundidos na sua matriz (Al-Kayssi, 2009; Candido et al., 2011). O quarto, o aumento de temperatura que provoca a morte dos propágulos de plantas daninhas fica restrito à camada mais superficial do solo (Ricci et al., 2006; Kumar et al., 2012), com pouca efetividade nas estruturas reprodutivas localizadas em camadas abaixo dessa profundidade (Travlos et al., 2009). Por fim, o quinto fator é o revolvimento do solo após a solarização que pode anular o efeito do aumento de temperatura devido à redistribuição das estruturas reprodutivas das espécies daninhas no solo tratado (Peachey et

al., 2001).

Em um amplo estudo sobre a suscetibilidade de plantas daninhas à solarização, Linke (1994) avaliou a influência da solarização no controle de 57 espécies daninhas em cultivos de lentilha (*Lens culinaris*) e de feijão-fava (*Vicia faba*). O solo foi revolvido com arado de discos e grade niveladora, irrigado e em seguida solarizado (filme de polietileno transparente de 180 µm) por 50 dias, o que promoveu aumento de temperatura para 57°C na camada de solo até 5 cm. Quarenta e seis espécies anuais (entre elas *Amaranthus retroflexus*, *Sinapis arvensis* e *Tribulus terrestris*) foram consideradas altamente suscetíveis, muitas atingindo nível máximo de controle. Outras espécies, com características biológicas variadas, tiveram as populações aumentadas após a solarização, evidenciando que os seus propágulos receberam estímulo à germinação e emergência após a ação dessa estratégia de controle. Essas espécies foram *Bunium elegans* (anual com reprodução por sementes), *Cornilla scorpioides* (perene com reprodução por sementes), *Geranium tuberosum* (perene com reprodução por sementes e tubérculos), *Muscari racemosum* (perene de caule bulboso e com reprodução por sementes) e *Scorpiurus muricatus* (anual com reprodução por sementes). Segundo o autor, o aumento de temperatura decorrente da solarização promoveu quebra de dormência imposta por tegumento das sementes (impermeabilidade à água). Outras espécies foram consideradas indiferentes à solarização: *Aristolochia maurorum*, *Bellevia sp.*, *Gladiolus aleppicus*, *Leontice leontopetalum* e *Ornithogalum narbonne*. Em geral, as espécies suscetíveis à solarização tinham reprodução por sementes, e as tolerantes e indiferentes, reprodução vegetativa e, ou órgãos subterrâneos bem desenvolvidos (raízes e tubérculos).

Bettiol et al. (1994) promoveram a solarização do solo para avaliar o controle de patógenos de solo (*Pythium*) e de plantas daninhas na cultura do crisântemo (*Chrysanthemum sp.*). A cobertura foi realizada com filme de polietileno transparente de 35 µm por um período de 60 dias, ao fim do qual o solo foi revolvido para o plantio das mudas. Nas camadas de solo de 0 até 10 e de 10 até 20 cm submetidas à solarização as temperaturas foram 10°C e 5°C superiores às registradas nas mesmas camadas não solarizadas, respectivamente, o que permitiu reduzir o crescimento de plantas daninhas imposta de 81% em relação ao solo mantido sem cobertura.

Kuva et al. (1995) investigaram a influência da solarização no controle de *C. rotundus* por meio da interação em períodos de 15, 30 ou 60 dias e nas fases de desenvolvimento vegetativo ou de florescimento. A cobertura do solo

com filme plástico transparente (300 μm) possibilitou elevar a temperatura média do solo em 4,3°C acima do solo nu, com registros acima de 50°C nos momentos de maior insolação. A solarização reduziu a massa seca de plantas, a viabilidade e a multiplicação de tubérculos, sobretudo durante a fase vegetativa e no maior período de solarização, evidenciando maior suscetibilidade da espécie nesta fase do desenvolvimento.

Marengo e Lustosa (2000) investigaram o controle de plantas daninhas com solarização em cultivo de cenoura (*Daucus carota*), onde foram empregados filmes de polietileno transparente de 100 e 150 μm por 63 dias. O solo foi arado e irrigado até atingir a capacidade de campo, sendo coberto logo em seguida com os filmes plásticos. Durante a solarização a temperatura da camada de solo até 5 cm de profundidade atingiu 52°C, 10°C acima do solo sem cobertura. Aos trinta dias após a retirada da cobertura plástica os autores constataram redução de massa seca e de densidade das espécies *Chamaecrista nictans*, *Marsypianthes chamaedrys*, *Cyperus spp.*; *Mollugo verticillata*, *Sebastiania corniculata*, *Spigelia anthelmia* e *Mitracarpus sp.* As plantas daninhas *Panicum hirtum*, *Croton lobatus*, *Indigofera hirsuta*, *Phyllanthus amarus* e *Eragrostis ciliaris* foram tolerantes. O número e a massa de *Commelina benghalensis* foi estimulada pelo aquecimento do solo.

Ricci et al. (2000) empregaram a solarização (filme plástico transparente de 50 μm) durante 210 dias para controle de *C. rotundus* em cultivos orgânicos de beterraba (*Beta vulgaris*), cenoura (*Daucus carota*), feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris*) e repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*), e obtiveram nível de controle de 99,7% (redução de 964 para 2,4 plantas de tiririca/ m^2) após a retirada da cobertura plástica. Durante a solarização a temperatura média do solo na camada até 10 cm de profundidade atingiu 49,7°C, enquanto no solo não solarizado não passou de 40,74°C. Ao longo do período de cultivo das hortaliças verificou-se que a solarização reduziu a reinfestação do solo por plantas de *C. rotundus* em cerca de 60%, com 473 plantas/ m^2 nos canteiros solarizados contra 1.151 naqueles que não receberam esse tratamento. A solarização resultou em aumento de produtividade das culturas, efeito da redução da interferência da planta daninha, mas também decorrente das melhorias no ambiente de cultivo como o controle de patógenos de solo, estimulação da atividade de microrganismos benéficos e aumento da disponibilidade de alguns nutrientes (N, Ca e Mg) para as plantas.

Webster (2003) expôs tubérculos pré-germinados de *Cyperus*

esculentus e de *Cyperus rotundus* a ambientes com temperaturas elevadas e constantes durante períodos crescentes para avaliar a brotação e formação de novos tubérculos a partir dos tubérculos-mãe. Quando submetidos à temperatura de 50°C por 64 h ocorreu inibição total da brotação e da formação de tubérculos de *C. rotundus*, ao passo que para *C. esculentus* esse período foi reduzido para 16 h, evidenciando suscetibilidade diferenciada entre as espécies. Embora nas condições de cultivo os tubérculos estejam em sua maioria dormentes, a implementação de operações que estimulem a brotação dos tubérculos como revolvimento do solo (Jakelaitis et al., 2003) poderá torna-los mais suscetíveis ao calor produzido pela solarização.

Em um trabalho conduzido em condição de cultivo protegido Mauromicale et al. (2005) avaliaram o emprego da solarização para controle da planta daninha parasita *Orobanche ramosa* (espécie cuja maior parte de seu ciclo de vida ocorre abaixo da superfície do solo, portanto, pouco suscetível às estratégias tradicionais de controle) em cultura de tomateiro (*Lycopersicon esculentum*). A solarização (filme de polietileno transparente de 30 µm) foi aplicada durante 60 dias em solo preparado e com umidade na capacidade de campo, resultando em aumento de temperatura na camada do solo de 0-5 cm até 55°C (10°C a mais em relação ao solo não-solarizado). A solarização impediu a emergência de plantas, a formação de haustórios e de tubérculos das plantas daninhas associados às raízes das plantas da cultura, mortalidade de 95% das sementes viáveis e indução de dormência secundária nos 5% restantes. O controle de *Orobanche ramosa* com a solarização proporcionou condições ótimas de crescimento e desenvolvimento do tomateiro, resultando em aumento do número de frutos por planta (68 contra 29), do peso médio de fruto (95 g contra 72 g) e da produtividade (6,2 kg/planta contra 2,1 kg/planta).

Ricci et al. (2006) avaliaram a influência da solarização (filme de polietileno transparente de 50 µm) para controle de *C. rotundus* em cultivo orgânico de cenoura. O solo foi preparado com enxada rotativa e em seguida irrigado e coberto com o plástico. Aos 30 e 60 dias após a cobertura o solo foi revolvido manualmente com enxada e novamente coberto até completar 100 dias, momento no qual foi estimado o número de tubérculos de *C. rotundus* viáveis, com perda de viabilidade dos tubérculos de 74%. O número de brotações aos 45 dias após a semeadura da cenoura (reinfestação da área) no solo solarizado foi 86 menor do que o valor observado no solo manejado sem solarização.

Dahlquist et al. (2007) estimaram o tempo necessário para a morte de sementes de seis espécies daninhas (*Amaranthus albus*, *Echinochloa crus-galli*, *Portulaca oleracea*, *Sisymbrium irio*, *Solanum nigrum*, *Sonchus oleraceus*) submetidas ao aquecimento produzido por solarização simulada em laboratório, com temperaturas variando de 39 a 70°C. Em temperaturas acima de 60°C as sementes de todas as espécies foram mortas em período de tempo muito curto (máximo de 3 h para *Portulaca oleracea*, a espécie mais tolerante), e abaixo de 39°C todas as espécies foram muito tolerantes (mais de 672 h para promover a morte de sementes de *Sonchus oleraceus*). Na temperatura de 50°C, comumente relatada em muitos trabalhos levados à termo em condição de campo, a duração do período de aquecimento para promover a morte de todas as sementes apresentou grande variação entre as espécies: 4 h para *Sonchus oleraceus*, 6 h para *Sisymbrium irio*, 9 h para *Echinochloa crus-galli*, 56 h para *Portulaca oleracea*, 71 h para *Solanum nigrum* e 113 h para *Amaranthus albus*. Porém, nenhum programa de manejo propõe adoção de ação cuja eficácia seja a total, e os autores verificaram que para obter nível de controle de 90% o período de exposição ao calor pode ser bem menor, como por exemplo, *Portulaca oleracea*, de 56 h para 19 h (redução de 66%).

Bangarwa et al. (2008) compararam a eficácia de controle de *C. rotundus* em cultivo orgânico de pimentão (*Capsicum annum*) com a adoção de solarização, com filmes de polietileno translúcido (verde) e transparente, controle mecânico com enxada rotativa a cada três semanas e controle manual. A densidade de tubérculos viáveis no solo antes da implantação da cultura era de 910/m², que aumentou para mais de 5.400/m² após dois anos na área mantida em pousio, indicando a grande capacidade de propagação da planta daninha, mantendo-se constante quando se empregou o controle manual. A densidade de tubérculos de tamanhos médio (0,26 a 0,50 g/tubérculo) e grande (mais de 0,50 g/tubérculo) manteve-se inalterada ao longo do tempo (110 e 500/m², respectivamente), enquanto a de pequenos (0,10 a 0,25 g) foi drasticamente reduzida pelo manejo com o filme plástico transparente. O uso frequente de enxada rotativa ou o emprego do filme plástico translúcido foram ineficazes no controle de *C. rotundus*.

Referências

AL-KAYSSI, A. W. Impact of elevated CO₂ concentrations in the soil on soil solarization efficiency. **Applied Soil Ecology**, v. 43, n. 1, p. 150-158, 2009.

BALBINOT JR., A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação do uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1925-1933, 2009.

BANGARWA, S. K.; NORSWORTHY, J. K.; JHA, P.; MALIK, M. Purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) management in an organic production system. **Weed Science**, v. 56, n. 4, p. 606-613, 2008.

BATISH, D. R.; SINGH, H. P.; KOHLI, R. K.; KAUR, S. Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 12, p. 2166-2174, 2008.

BATLLA, D.; BENECH-ARNOLD, R. L. Predicting changes in dormancy level in weed seed soil banks: implications for weed management. **Crop Protection**, v. 26, p. 189-197, 2007.
BETTIOL, W.; GHINI, R.; GALVÃO, J. A. H.; ZOCCHI, S. S. Solarização do solo para o controle de *Pythium* e plantas daninhas em cultura de crisântemo. **Scientia Agricola**, v. 51, n. 3, p. 459-462, 1994.

CANDIDO, V.; D'ADDABBO, T.; MICCOLIS, V.; CASTRONUOVO, D. Weed control and yield response of soil solarization with different plastic films in lettuce. **Scientia Horticulturae**, v. 130, n. 3, p. 491-497, 2011.

COHEN, O.; RIOV, J.; KATAN, A.; GAMLIEL, A.; BAR, P. Reducing persistent seed banks of invasive plants by soil solarization – the case of *Acacia saligna*. **Weed Science**, v. 56, n. 6, p. 860-865, 2008.

DAHLQUIST, R. M.; PRATHER, T. S.; STAPLETON, J. J. Time and temperature requirements for weed seed thermal death. **Weed Science**, v. 55, n. 6, p. 619-625, 2007.

EGLEY, G. H. High-temperature effects on germination and survival of weed seeds in soil. **Weed Science**, v. 38, n. 4-5, p. 429-435, 1990.

FAO. **FAO Statistical Yearbook 2013**: world food and agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization. 2013 p. 288.

GAMLIEL, A.; STAPLETON, J. J. Characterization of antifungal volatile compounds evolved from solarized soil amended with cabbage residues. **Phytopathology**, v. 83, n. 9, p. 899-905, 1993.

GENG, Y.; MA, J.; JIA, R.; XUE, L.; TAO, C.; LI, C.; MA, X.; LIN, Y. Impact of long-term atrazine use on groundwater safety in Lilin Province, China. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 12, n. 2, p. 305-313, 2013.

GHERSA, C.; MARTÍNEZ-GHERSA, M. A. Ecological correlates of weed seed size and persistence in the soil under different tilling systems: implications for weed management. **Field Crops Research**, v. 67, n. 2, p. 141-148, 2000.

GIANESSI, L.; WILLIAMS, A. **China's agricultural success: the role of herbicides**. International Pesticide Benefits Case Study No. 1, august 2011. CropLife Foundation. Crop Protection Research Institute. a

GIANESSI, L.; WILLIAMS, A. **Herbicides enable the replanting of rubber trees on small farms in South Asia**. International Pesticide Benefits Case Study No. 9, august 2011. CropLife Foundation. Crop Protection Research Institute. b

GIANESSI, L. P. The increasing importance of herbicides in worldwide crop production. **Pest Management Science**, v. 69, n. 10, p. 1099-1105, 2013.

HALOIN, J. M. Deterioration resistance mechanisms in seeds. **Phytopathology**, v. 73, n. 2, p. 335-339, 1983.

HAM, J. M.; KLUITENBERG, G. J. Modeling the effect of mulch optical properties and mulch-soil contact resistance on soil heating under plastic mulch culture. **Agriculture and Forest Meteorology**, v. 71, n. 3-4, p. 403-424, 1994.

JAKELAITIS, A.; FERREIRA, L. R.; SILVA, A. A.; AGNES, E. L.; MIRANDA, G. V.; MACHADO, A. F. L. Efeitos de sistemas de manejo sobre a população de tiririca. **Planta Daninha**, v. 21, n. 1, p. 89-95, 2003.

JOHNSON III, W. C.; DAVIS, R. F.; MULLINIX, B. G. An integrated system of summer solarization and fallow tillage for *Cyperus esculentus* and nematode management in southeastern coastal plains. **Crop Protection**, v. 26, p. 1660-1666, 2007.

KATAN, J.; GREENBERGER, A.; ALON, H.; GRINSTEIN, A. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogen. **Phytopathology**, v. 66, n. 5, p. 683-688, 1976.

KREMER, R. J. Antimicrobial activity of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) seeds. **Weed Science**, v. 34, n. 4, p. 617-622, 1986.

KUMAR, M.; DAS, T. K.; YADURAJU, N. T. An integrated approach for management of *Cyperus rotundus* (purple nutsedge) in soybean-wheat cropping system. **Crop Protection**, v. 33, n. 1, p. 74-81, 2012.

KUVA, M. A.; ALVES, P. L. C. A.; ERASMO, E. L. A. Efeitos da solarização do solo através de plástico transparente sobre o desenvolvimento da tiririca (*Cyperus rotundus*). **Planta Daninha**, v. 13, n. 1, p. 26-31, 1995.

MARTINS, B. A. B.; CHAMMA, H. M. C. P.; DIAS, C. T. S.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Germinação de *Borreria densiflora* var. latifolia sob condições controladas de luz e temperatura. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 301-307, 2010.

MAUROMICALE, G.; LO MONACO, A.; LONGO, A. M.; RESTUCCIA, A. Soil solarization, a nonchemical method to control branched broomrape (*Orobanche ramosa*) and improve the yield of greenhouse tomato. **Weed Science**, v. 53, n. 6, p. 877-883, 2005.

MAYER, A. M.; POLJAKOFF-MAYBER, A. **The germination of seeds**. 4. ed. Oxford: Pergamon. 1989, 270 p.

MOORE, M. T.; BENNETT, E. R.; COOPER, C. M.; SMITH Jr., S.; SHIELDS, F. D.; MILAM, C. D.; FARRIS, J. L. Transport and fate of atrazine and lambda-cyhalothrin in an agricultural drainage ditch in the Mississippi delta, USA. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 87, n. 3, p. 309-314, 2001.

PANNACCI, E.; TEI, F. Effects of mechanical and chemical methods on weed control, weed seed rain and crop yield in mayze, sunflower and soyabean. **Crop Protection**, v. 64, p. 51-59, 2014.

PEACHEY, R.E.; PINKERTON, J. N.; IVORS, K. L.; MILLER, M. L.; MOORE, L. W. Effect of soil solarization, cover crops, and metham on field emergence and survival of buried annual bluegrass (*Poa annua*) seeds. **Weed Technology**, v. 15, n. 1, p. 81-88, 2001.

PEDLOWSKI, M. A.; CANELA, M. C.; TERRA, M. A. C.; FARIA, R. M. R. Modes of pesticides utilization by Brazilian smallholders and their implications for human health an environment. **Crop Protection**, v. 31, p. 113-118, 2012.

PRICE, A.; KELTON, J. Weed control in conservation agriculture. In: Larramedy, M. (ed.) **Herbicides, theory and applications**. p. 3-16, 2011. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/herbicides-theory-and-applications/weed-control-in-conservation-agriculture> Acesso em: 17 jun 2014.

RICCI, M. S. F.; ALMEIDA, D. L.; FERNANDES, M. C. A.; RIBEIRO, R. L. D.; CANTANHEIDE, M. C. S. Efeitos da solarização do solo na densidade populacional de tiririca e na produtividade de hortaliças sob manejo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 11, p. 2175-2179, 2000.

RICCI, M. S. F.; OLIVEIRA, F. F.; MIRANDA, S. C.; COSTA, J. R. Produção da cenoura e efeito na fertilidade do solo e nutrição decorrente da solarização do solo para controle da tiririca.

Bragantia, v. 65, n. 4., p. 607-614, 2006.

SINGLA, S. L.; PAREEK, A.; GROVER, A. High temperature. In: PRASAD, M. N. V. (Ed.). **Plant Ecophysiology**. New York: John Wiley, 1997. p. 101-127.

TRAVLOS, I. S.; ECONOMU, G.; KOTOULOS, V. E.; KANATAS, P. J.; KONTOGEORGOS, A. N.; KARAMANOS, A. I. Potential effects of diurnally alternating temperatures and solarization on purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) tuber sprouting. **Journal of Arid Environments**, v. 73, n. 1, p. 22-25, 2009.

UCHINO, H.; IWAMA, K.; JITSUYAMA, Y.; YUDATE, T.; NAKAMURA, S. Yield losses of soybean and mayze by competition with interseeded cover crops and weeds in organic-based cropping systems. **Field Crops Research**, v. 113, n. 3-4, p. 342-351, 2009.

WEBSTER, T. M. High temperatures and durations of exposure reduce nutsedge (*Cyperus* spp.) tuber viability. **Weed Science**, v. 51, n. 6, p. 1010-1015, 2003.

Alelopatia: potencialidades do seu uso no controle do mato

Helena Regina Pinto Lima, Sarah Cristina Caldas Oliveira, Fernanda Satie Ikeda, Luiz Fernando Duarte de Moraes

Introdução

As plantas estão expostas aos fatores bióticos e abióticos na natureza. A pressão de seleção por esses fatores ao longo do processo evolutivo provocou o desenvolvimento na célula vegetal de numerosas rotas biossintéticas, através das quais as plantas sintetizam e acumulam em seus órgãos uma grande variedade de metabólitos especiais. Esse laboratório químico é uma estratégia natural das plantas para defender-se de seus atacantes e competidores. A fim de compreender melhor as interações e os mecanismos de defesa das plantas, pode-se considerar a Alelopatia como a ciência que estuda qualquer processo que envolva metabólitos, geralmente os secundários de origem vegetal ou microbiana, que influenciam o crescimento ou o desenvolvimento dos sistemas biológicos (World Congress On Allelopathy, 1996). O termo alelopatia foi cunhado por Molish (1937) unindo dois termos gregos: alelon = mútuo e pathos = contra.

Os aleloquímicos podem ser liberados no ambiente de quatro formas (Figura 1): exsudação de substâncias provenientes de raízes vivas; pela volatilização; lixiviação de substâncias de folhas, cascas, frutas, sementes; e decomposição do material vegetal depositado no solo (Gliessman, 2000).

Ilustração: Gabriela Lima Pugliali

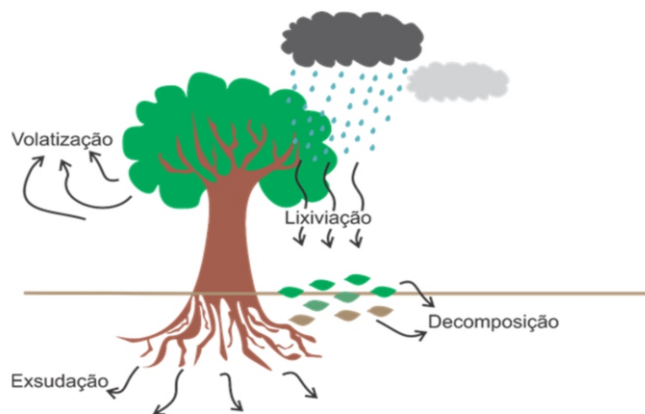


Ilustração 1. Principais modos de liberação dos aleloquímicos no ambiente.

Oriundos primordialmente do metabolismo secundário, como dito anteriormente, os aleloquímicos provêm, em geral, das vias metabólicas do ácido chiquímico ou do acetato-mevalonato, ou ainda de esqueletos químicos resultantes de uma via mista. São conhecidos atualmente cerca de 45.000 metabólitos secundários, classificados de distintas maneiras. Inicialmente, Whittaker e Feeny (1971) dividiram esses metabólitos entre cinco grupos: acetogeninas, fenilpropanos, esteroides, terpenoides e alcaloides. Com base nas similaridades químicas, Rice (1984) propôs uma categorização mais ampla: flavonoides; ácidos orgânicos, álcoois com cadeia ramificada, aldeídos alifáticos e cetonas; lactonas simples insaturadas; ácidos graxos de cadeia longa; naftoquinonas, antraquinonas e quinonas complexas; taninos hidrolisados e condensados; ácidos gálico e protocatéquico, fenóis simples e derivados do ácido benzóico; aminoácidos e polipeptídeos; sulfitos; purinas e nucleosídeos; cumarinas; e derivados do ácido cinâmico. Mais recentemente, Taiz e Zeiger (2009), levando em consideração a biossíntese, propuseram três grupos: substâncias fenólicas, nitrogenadas e terpenos.

Muitas vezes, os estudos de alelopatia se confundem com fitotoxicidade. Nos estudos de alelopatia, os aleloquímicos são extraídos de forma natural, como por lixiviação ou exsudação, simulando processos que podem refletir o que realmente ocorre no ambiente natural da planta. A água é utilizada para solubilizar essas substâncias, em condições de pH próximas às que ocorrem na espécie doadora. Por outro lado, nos estudos de fitotoxicidade, os metabólitos secundários podem ser extraídos do tecido da planta não necessariamente por um método natural, mas pelo uso de solventes orgânicos e equipamentos de ultrassom e Soxhlet para extração (Reigosa et al., 2013).

Os produtos naturais são frequentemente considerados como não danosos ao meio ambiente, sendo muitos desses facilmente biodegradáveis. Em alguns casos, esses produtos podem apresentar atividades fitotóxicas, que seriam responsáveis pela supressão no crescimento de plantas daninhas, e por isso vêm sendo alvo de estudos na busca de produção de novos herbicidas naturais e agroquímicos. Registros de novos pesticidas na *Environmental Protection Agency* (EPA), nos EUA, durante o período de 1997-2010, indicam que 69,3% dos novos princípios ativos são oriundos de produtos naturais, mostrando claramente a importância dos estudos na área para o desenvolvimento de novos produtos comerciais (Cantrell et al., 2012). Esses metabólitos podem ter um papel muito importante no desenvolvimento de

agroecossistemas mais sustentáveis, especialmente para reduzir a necessidade de utilizar agroquímicos com custo elevado e que podem representar uma ameaça à saúde humana e ao equilíbrio ambiental.

A partir das informações apresentadas acima, este capítulo tem como objetivo discutir aspectos de estudos alelopáticos que podem contribuir para a compreensão de como podem se dar as interferências entre espécies de interesse e espécies não desejáveis (mato), em sistemas naturais ou em sistemas de cultivo.

Aspectos da fisiologia vegetal envolvidos na atividade alelopática

Contrastando com os inúmeros relatos de interações alelopáticas pela comunidade científica, e a identificação de milhares de metabólitos que estariam implicados nesse fenômeno, são poucos os aleloquímicos cujo modo de ação ou mecanismo primário de ação está elucidado. Em geral, os relatos se restringem a mencionar a redução da germinação e do crescimento radicular da planta-alvo (Jiménez-Osornio et al., 1996; Ahn & Chung 2000; Bilalis et al., 2013). Uma das razões para essa incipiência do conhecimento sobre o mecanismo primário de ação é que os aleloquímicos podem inibir ou modificar o crescimento e o desenvolvimento de uma planta de diversos modos, sendo comum que um mesmo aleloquímico afete mais de um processo celular não relacionado, tornando difícil, portanto, separar os efeitos primários dos efeitos secundários. Os estudos têm revelado que essas substâncias com ação fitotóxica afetam direta ou indiretamente um processo fisiológico essencial para a planta, incluindo metabolismo energético (fotossíntese e respiração); balanço hídrico e função dos estômatos; propriedades dos sistemas de membranas; inibição da divisão celular; atividade de fito-hormônios; inibição na síntese de proteínas, síntese ou degradação de pigmentos e atividade de enzimas-chave do metabolismo (Rizvi & Rizvi 1992; Einhellig 1995; Inderjit & Duke, 2003; Martínez-Peñalver et al., 2012).

Aleloquímicos podem alterar a estrutura das plantas, conforme alguns relatos na literatura (Müller & Hauge 1967; Hallak et al., 1999). Por exemplo, extratos aquosos de *Lonchocarpus muelhbergianus* Hassl. (Fabaceae) resultaram em não diferenciação dos pelos absorventes, colapso das demais células epidérmicas e desorganização do córtex radicular da alface (*Lactuca sativa* L.) (Oliveira et al., 2008). Outras alterações foram observadas a

partir dos extratos aquosos de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), que causaram necrose da epiderme e córtex, hipertrofia do parênquima cortical, diferenciação precoce do xilema e alterações no tamanho e formato da coifa de raízes de gergelim (*Sesamum indicum* L.) (Pina et al., 2009).

Métodos para avaliação de potencial alelopático

A metodologia abrange estudos fitoquímicos com o preparo de extratos, e o isolamento, a identificação e a caracterização dos agentes alelopáticos de forma biodirigida. Por meio de bioensaios é avaliado o potencial alelopático dos extratos, frações e substâncias puras (Macías et al., 2000, 2002; Rice, 1984; Soares & Vieira, 2000; Soares et al., 2002). Assim, são comuns na literatura estudos sobre alelopatia pela aplicação de extratos (aquosos, etanólicos etc.) utilizando sementes de alface ou tomate como espécies-testes nesses estudos.

Outros quatro métodos têm sido sugeridos para rotas específicas de ação em estudos de alelopatia tendo a alface como planta receptora na avaliação da germinação e do desenvolvimento do hipocótilo e radícula (Fujii, 2008). O primeiro a ser estabelecido é específico para avaliar a liberação de exsudados em meio ágar provenientes de plantas doadoras, sendo denominado o método de “Plant Box Method”. O segundo método, designado “Sandwich Method”, pode ser aplicado para avaliar o efeito inibitório decorrente de metabólitos lixiviados das folhas. Por isso, colocam-se folhas da espécie em estudo entre duas camadas de ágar. O terceiro foi estabelecido para quando o efeito decorre da emissão de substâncias voláteis, sendo tratado por “Dish Pack Method”. Nesse caso, são utilizadas placas de cultura com seis poços lacradas com fita adesiva, sendo que fragmentos do órgão a ser avaliado são colocados em apenas um deles, e nos demais poços avalia-se também o seu efeito em sementes de alface. O último método sugerido, denominado “Rhizosphere Soil Method”, indica a retirada cuidadosa ou cautelosa do solo no ambiente da rizosfera, separada da superfície da raiz e sem danificá-la, para avaliar o efeito na espécie-teste.

Raros são os trabalhos que comprovam a alelopatia na literatura, considerando-se que para isso é necessário comprovar que a) a planta investigada deve produzir um aleloquímico; b) a planta deve ser capaz de liberar o aleloquímico para o ambiente; c) a concentração do aleloquímico no solo deve estar em níveis inibitórios; d) outras plantas devem ser suscetíveis ao aleloquímico; e) outros fatores promotores de interferência devem ser eliminados (Souza Filho, 2002).

As pesquisas de campo, na verdade, têm se restringido ao estudo do solo rizosférico, coletado sob plantas que apresentam aleloquímicos (p.ex. Safdar et al., 2014), e não têm tido como foco a avaliação da interferência entre as plantas doadoras e receptoras no ambiente natural.

As pesquisas em ambientes naturais favorecerão a melhor compreensão dos mecanismos de ação dos metabólitos na formação das populações e das comunidades vegetais. Apesar de os metabólitos ocorrerem em menores quantidades no ambiente, eles em sua maioria são solúveis em água, o que facilita sua absorção pelas plantas receptoras (Vyvyan, 2002).

A alelopatia e o controle da matocompetição em agroecossistemas e ambientes naturais

Como comentado anteriormente, os estudos sobre a ação alelopática de espécies vegetais têm sugerido um potencial uso dessas plantas para o controle de espécies invasoras ou daninhas (plantas não desejáveis). Entre as possibilidades, encontra-se o emprego de culturas (como trigo e cevada) que apresentam efeito alelopático, como cobertura ou mesmo para formação de palhada em sistemas de plantio direto. Além disso, pode-se aplicar a estratégia nas culturas em rotação ou em consórcio com culturas de interesse. Esse efeito inibitório poderia ser mais bem explorado no melhoramento genético dessas espécies (Macías et al., 2004), embora pouco seja feito nesse sentido. Porém, Concenço et al. (2014) citam que são necessários estudos que avaliem os limites de tolerância de cada espécie às variações ambientais, a capacidade de adaptação às práticas de manejo e os níveis de competição estabelecidos tanto com a cultura quanto com as demais espécies ocorrentes. Da mesma forma, deve-se verificar a ocorrência de autotoxicidade, ou seja, o efeito alelopático sobre os demais indivíduos da mesma espécie.

Na restauração de ecossistemas degradados, a alelopatia pode ser um mecanismo chave importante, no qual espécies nativas podem reduzir a abundância e o impacto das espécies exóticas invasoras (Cummings et al., 2012). Em sistema de plantas cultivadas, algumas espécies já têm sido estudadas com essa finalidade, como sorgo, girassol e espécies de eucalipto (Khaliq et al., 2013).

Na implantação de ações de restauração de ambientes terrestres, espécies vegetais invasoras podem dificultar o restabelecimento do ecossistema natural local, como é o caso de gramíneas exóticas C4 em florestas tropicais, cuja expansão é favorecida pela remoção das florestas

(Foxcroft et al., 2010). Os esforços de restauração devem, portanto, ser direcionados para o controle dessas espécies. (Moraes et al., 2010; Hooper et al., 2002; Jones et al., 2004). Estudos com espécies do Panamá mostraram o papel de leguminosas no controle de gramíneas C4 em áreas de restauração, estratégia promissora no sucesso do restabelecimento das condições naturais desses ambientes (Cummings et al., 2012).

Por outro lado, muitas espécies exóticas produzem aleloquímicos tóxicos que as espécies nativas não conseguem tolerar. Um caso clássico dessa interferência é a *Centaurea maculosa* Eichw., exótica invasora da América do Norte, que dificultou o estabelecimento de espécies nativas (He et al., 2009; Thorpe et al., 2009).

A partir dessas observações, surge a **Novel Weapons Hypothesis**, que propõe que espécies introduzidas podem ter um efeito alelopático muito forte nas espécies de plantas da vizinhança no novo ambiente, algo não observado pela espécie no seu ambiente de origem (Bais et al., 2003; Callaway & Ridenour, 2004). Um estudo bem ilustrativo dessa hipótese é o que confirmou a existência de interferência alelopática favorecendo a invasão do capim-gengibre (*Paspalum maritimum* Trin.) em áreas de pastagens cultivadas na região amazônica (Souza Filho, 2006).

Um conceito inverso da **Novel Weapons** seria a espécie nativa apresentar propriedades alelopáticas que aumentariam a resistência às plantas invasoras. Essa hipótese foi chamada de **Homeland Security**, que destaca a capacidade de resistência de comunidades nativas a invasões (Cummings et al., 2012). Um estudo de caso foi o da espécie *Polygonella myriophylla* (Small) Horton e outras nativas nas florestas de *Pinus*, que inibiram a invasão da gramínea *Paspalum notatum* Flüggé (Weidenhamer & Romeo, 2005). Um esquema dessa hipótese pode ser visualizado na Figura 2.

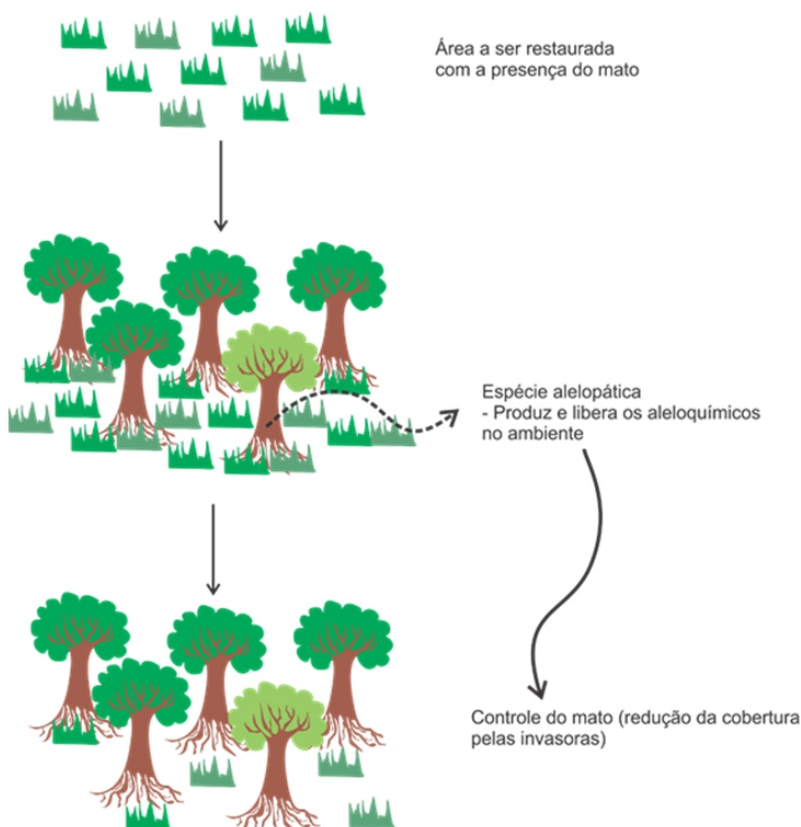


Ilustração 2- Esquema simplificado do estabelecimento da vegetação herbácea invasora (mato) e de como espécies arbóreas nativas com potencial alelopático podem ser introduzidas na restauração ecológica de florestas para o controle do mato (hipótese da “segurança interna”- Homeland Security).

Certas famílias e gêneros botânicos estão associadas à alta produção de metabólitos secundários que podem contribuir para a produção e liberação de substâncias alelopáticas (Hadacek, 2002; Singh et al., 2003).

A Tabela 1 reúne estudos de potencial alelopático realizados com espécies vegetais nativas e cultivadas sobre espécies padrão (monocotiledôneas e eudicotiledôneas) e daninhas. Apesar de haver uma preocupação em controlar as espécies não desejáveis, nos sistemas de cultivos ou em ambientes naturais, facilmente é observado o número reduzido de táxons avaliados.

As famílias Poaceae, Cyperaceae, Fabaceae e Amaranthaceae, apresentadas na Tabela 1, englobam poucas plantas daninhas estudadas e que poderiam, no ambiente natural, responder como espécies receptoras dos aleloquímicos liberados. Por outro lado, há uma diversidade maior de espécies doadoras sendo investigadas, por meio da avaliação das diferentes partes da planta.

Os resultados mostrados na Tabela 1 indicam que há interesse maior no isolamento, caracterização e avaliação dos efeitos produzidos pelos metabólitos secundários sintetizados nas folhas.

Os trabalhos citados atribuem parte do efeito alelopático a ação de algumas substâncias flavonoídicas. Provavelmente, pelo fato de os flavonoides terem ampla distribuição no reino vegetal, por apresentarem uma diversidade de tipos estruturais e uma gama de ações. Lactonas sesquiterpênicas, alcaloides, quinoides e saponinas ocorrem em grupos taxonômicos mais restritos, por isso, têm um número de citações reduzido no campo das interações alelopáticas.

Os extratos utilizados causaram, em sua maioria, efeito fitotóxico, alterando o processo germinativo e de crescimento da radícula e do hipocótilo. Alguns poucos estudos avaliaram as alterações do ciclo celular.

Tabela 1. Relação de espécies vegetais doadoras e órgãos estudados, classes químicas, espécies alvo, efeitos alelopáticos identificados.

Espécies doadoras/Famílias	Órgãos estudados	Classes químicas	Substâncias químicas	Espécies alvo	Efeitos	Bibliografias
<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L. (Amaranthaceae)	caule	fenol	ácido férulico; p-cumárico	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	GERH	Tejeda-Sartorius et al. (2004)
<i>Andira humilis</i> Mart. ex Benth. (Fabaceae)	caule e folha	polifenol	tanino	<i>Lactuca sativa</i> L. e <i>Raphanus sativus</i> L.	GER	Pertotto et al. (2004)
<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC. (Fabaceae)	raiz, caule folha e flor	N.D.	N.D.	<i>Cyperus rotundus</i> L.	DEPA, IBR	Magalhães (1964)
<i>Cenchrus echinatus</i> L. (Poaceae)	caule e raiz	alcaloides, glicosídeo cianogênico flavonoide, polifenol, terpenoide e/ou esteroide	tanino triterpeno	<i>Panicum maximum</i> Jacq. <i>Lolium perenne</i> L. <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L. <i>Trifolium alexandrinum</i> L. <i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Hornem.	GEQR; DEPA	Radi e Hernandez-Terrones (2005)
<i>Cinnamomum zeylanicum</i> Blume (Lauraceae), <i>Cymbopogon citratus</i> Stapf (Poaceae), <i>Lippia sidoides</i> Cham. (Verbenaceae), <i>Ocimum gratissimum</i> L. (Lamiaceae) e <i>Pilocarpus microphyllus</i> Stapf (Rutaceae)	folha	N.D.	óleo essencial	<i>L. sativa</i> cv. <i>Grand Rapids</i>	GER	Alves et al. (2004)
<i>Derris urucu</i> (Killip & A.C.Sm.) J.F.Macbr. (Fabaceae)	folha	flavonoide	diidroflavonois (uruciol A e B; isourumalina)	<i>Mimosa pudica</i> L.	GERH	Silva et al. (2013)
<i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil. (Aquifoliaceae)	fruto	N.D.	N.D.	<i>Zea mays</i> L.	GER	Miró et al. (1998)
<i>Mikania micrantha</i> Kunth (Asteraceae)	folha e raiz	N.D.	N.D.	<i>Robinia pseudacacia</i> L., <i>Lagerstroemia indica</i> L.	GER	Wu et al. (2009)
<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze (Fabaceae)	folha e fruto	N.D.	N.D.	<i>Lactuca</i> sp., <i>Solanum lycopersicon</i> L., <i>Oriza</i> sp., <i>Daucus carota</i> L., sp., <i>Cucumis</i> sp., <i>Brassica</i> sp.	GER	Jacobi e Ferreira (1991)

Espécies doadoras/Famílias	Órgãos estudados	Classes químicas	Substâncias químicas	Espécies alvo	Efeitos	Bibliografias
<i>Mucuna pruriens</i> (L.) DC. (Fabaceae), <i>Lycoris radiata</i> Herb. (Amaryllidaceae),		alcaloide	L-DOPA, licorina			
<i>Vicia villosa</i> Roth (Fabaceae),	N.D.	grupo amino ligado ao grupo ciano	cianamida, rutina	Daninhas em geral	GER	Fujii (2008)
<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench (Polygonaceae)		flavonoide				
<i>Myrcia tomentosa</i> Glaz. (Myrtaceae)	folha	flavonoide	quercetina (avicularina) e calmpferol (juglamina)	<i>Lactuca</i> sp., <i>Allium cepa</i> L., <i>S. lycopersicon</i> , <i>Nasturtium officinale</i> W.T. Aiton	CRCO	Imatomi et al. (2013)
<i>Nicotiana tabacum</i> L. (Solanaceae); <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill (Myrtaceae)	folha	N.D.	N.D.	<i>L. sativa</i> cv. Veronica, <i>Brassica oleracea</i> L. var. italica Plenck cv. <i>Ramosa</i> <i>Santana</i> e <i>B. oleracea</i> L. var. <i>capitata</i> L. cv. Kenzan.	GER	Goetze e Thomé (2012)
<i>Oryza sativa</i> L. (Poaceae)	folha	flavonoide	5,7,4'-trihidrox- 3,5'- dimetoxiflavona	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.Beauv., <i>Cyperus difformis</i> L e C. iria L.	GER	Kong et al. (2004)
<i>O. sativa</i> (Poaceae) - (diferentes variedades e acessos)	folha	N.D.	N.D.	<i>E. crus-galli</i>	GER	Mattice et al. (2001)
<i>Parkia pendula</i> Benth. ex Walp. (Fabaceae)	folha	derivados do ácido benzoico	ácido 3,4,5- trimetoxibenzóico, ácido 3,4- dimetoxibenzóico (= ác. verático)	<i>Mimosa pudica</i> L. e <i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S.Irwin & Barneby	GERH	Souza Filho et al. (2005)
<i>Parthenium hysterophorus</i> L. (Asteraceae)	folha	lactona sesquiterpênica	partenina	<i>Avena fatua</i> L. e <i>Bidens pitulosa</i> L.	GER	Batish et al. (2012)
<i>Raphanus raphanistrum</i> L. (Brassicaceae)	folha e raiz	N.D.	N.D.	<i>L. sativa</i> ; <i>S. lycopersicon</i>	GER; GERH	Wandscheer e Pastormi (2008)

Espécies doadoras/Famílias	Órgãos estudados	Classes químicas	Substâncias químicas	Espécies alvo	Efeitos	Bibliografias
<i>Sapindus saponaria</i> L. (Sapindaceae)	folha	saponina	N.D.	<i>E. crus-galli</i> e <i>Ipomoea grandifolia</i> (Dammer) O'Donell	GER; DEPA	Grisi et al. (2012)
<i>Senna alata</i> (L.) Roxb.(Fabaceae)	folha	flavonoide	Canferol-3-O-gentiobiosídeo	<i>M. pudica</i> , <i>S. obtusifolia</i> e <i>S. alata</i> .	GER	Rodrigues et al. (2010)
<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench (Poaceae)	raiz	quinoide	sorgoleona	<i>Phaseolus vulgaris</i> L	CC	Hallak et al. (1999)
<i>Schinus molle</i> (L.) Cav. (Cav.) Cabrera, <i>S. terebinthifolius</i> Raddi (Anacardiaceae)	folha	N.D.	N.D.	<i>L. sativa</i> cv. Grand Rapids	GER	Pawłowski e Soares, (2008)
<i>Solanum lycocarpum</i> A.St.-Hil.(Solanaceae)	folha e fruto	N.D.	N.D.	<i>Sesamum indicum</i> L.	GER	Aires et al. (2005); Oliveira et al. (2004)
<i>Vitrola michelii</i> Heckel (Myristicaceae)	folha	flavonoide	titonina, 3'-hidroxil-7,4'-dimetoxiflavona e 3'-acetil-7,4'-dimetoxiflavona	<i>M. pudica</i>	GERH	Souza Filho et al. (2006)

Legenda: GER= germinação e desenvolvimento da radícula; CC= ciclo celular; CrCo= crescimento do coleóptilo; GERH= germinação e desenvolvimento da radícula e do hipocótilo; DEPA= desenvolvimento da parte aérea; IBR= inibição da brota

Considerações Finais

Ainda que haja um amplo conjunto de pesquisas sobre o potencial alelopático de espécies vegetais, os resultados desses estudos nem sempre podem ser indicativos de que tais plantas possam ser usadas para o controle do mato. Em primeiro lugar, a maioria dos estudos de alelopatia não tem como foco principal o controle do mato, o que dificulta uma inferência direta de que o efeito alelopático observado implica necessariamente o controle da planta não desejável.

Adicionalmente, os estudos buscam avaliar o efeito de uma planta com potencial alelopático sobre outras, e não as interações entre as plantas. No caso do controle do mato, há que se considerar que uma espécie, para chegar a estabelecer-se como invasora ou daninha, pode ter usado como estratégia de estabelecimento a atividade alelopática. Como descrito anteriormente, as hipóteses **Novel Weapons** e **Homeland Security** ilustram a bilateralidade nas interações entre plantas desejáveis e não desejáveis.

A hipótese de maior interesse para o controle do mato é a **Homeland Security**. Para testar essa hipótese, a avaliação de extratos de espécies nativas em bioensaios pode quantificar a importância relativa do efeito alelopático sobre espécies invasoras. De qualquer modo, são os estudos de campo que confirmarão o potencial alelopático, recomendando o uso dessas espécies em ações de restauração de ecossistemas naturais e em áreas cultivadas, e contribuindo para o controle do mato.

Referências

- AHN, J. K.; CHUNG, I. M. Allelopathic potential of rice hulls on germination and seedling growth of barnyardgrass. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 1162-1167, 2000.
- AIRES, S. S.; FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. Efeito alelopático de folhas e frutos de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. (Solanaceae) na germinação e crescimento de *Sesamun indicum* L. (Pedaliaceae) em solo sob três temperaturas. **Acta Botanica Brasílica**, v. 19, n. 2, p. 339-344, 2005.
- ALVES, M. C. S.; FILHO, S. M.; INNECCO, R.; TORRES, S. B. Alelopatia de extratos voláteis na germinação de sementes e no comprimento da raiz de alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1083-1086, 2004.
- BAIS, H. P.; VEPACHEDU, R.; GILROY, S.; CALLAWAY, R. M.; VIVANCO, J. M. Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions. **Science**, v. 301, p. 1377-1380, 2003.

BILALIS, D. J.; TRAVLOS, I. S.; KARKANIS, A.; GOURNAKI, M.; KATSENIOS, G.; HELA, D.; KAKABOUKI, I. Evaluation of the allelopathic potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Romanian Agricultural Research**, n. 30, p. 359-364, 2013.

BATISH, D. R.; SINGH, H. P.; KOHLI, R. K.; SAXENA, D. B.; KAUR, S. Allelopathic effects of parthenin against two weedy species, *Avena fatua* and *Bidens pilosa*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 47, n. 2, p. 149-155, 2002.

CALLAWAY, R. M.; RIDENOUR, W. M. Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 2, p. 436-443, 2004.

CANTRELL, C. L.; DAYAN, F. E.; DUKE, S. O. Natural products as sources for new pesticides. **Journal of Natural Products**, v. 75, p. 1231-1242, 2012.

CONCENÇO, G.; ANDRES, A.; SILVA, A. F.; GALON, L.; FERREIRA, E. A.; ASPIAZÚ, I. Ciência das plantas daninhas: histórico, biologia, ecologia e fisiologia. In: MONQUERO, P. A. (Ed.). **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. Rima, 2014. p. 1-31.

CUMMINGS, J. A.; PARKER, I. M.; GILBERT, G. S. Allelopathy: a tool for weed management in forest restoration. **Plant Ecology**, v. 213, p. 1975-1989, 2012.

EINHELLIG, F. A. Allelopathy: current status and future goals. In: INDERJIT, K. M. M. D.; EINHELLIG, F. A. (Ed.). **Allelopathy: organisms, processes and applications**. Washington: American Chemical Society, 1995. p. 1-24.

FOXCROFT, L. C.; RICHARDSON, D. M.; REJMANEK, M.; PYSEK, P. Alien plant invasions in tropical and sub-tropical savannas: patterns, processes and prospects. **Biological Invasions**, v. 12, n. 12, p. 3913-3933, 2010.

FUJII, Y. Screening of allelopathy by bioassay and isolation of allelochemicals: new bioactive agrochemicals from natural products. **Foods Food Ingredients Journal of Japan**, v. 213, n. 11, p. 1-2, 2008.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. UFRGS, 2000. 653 p.

GOETZE, M.; THOMÉ, G. Efeito alelopático de extratos de *Nicotiana tabacum* e *Eucalyptus grandis* sobre a germinação de três espécies de hortaliças. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 10, n. 1, p. 43-50, 2012.

GRISI, P. U.; RANAL, M. A.; GUALTIERI, S. C. J.; SANTANA, D. G. Allelopathic potential of *Sapindus saponaria* L. leaves in the control of weeds. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, n. 1, p. 1-9, 2012.

HADACEK, H. Secondary metabolites as plant traits: current assessment and future perspectives. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 21, p. 273-322, 2002.

HALLAK, A. M. G.; DAVIDE, L. C.; SOUZA, I. F. Effects of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) root exudates on the cell cycle of the bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.) root. **Genetics and Molecular Biology**, v. 22, n. 1, p. 95-99, 1999.

HE, W.-M.; FENG, Y.; RIDENOUR, W. M.; THELEN, G. C.; POLLOCK, J. L.; DIACONU, A.; CALLAWAY, R. M. Novel weapons and invasion: biogeographic differences in the competitive effects of *Centaurea maculosa* and its root exudate (+) – catechin. **Oecologia**, v. 159, p. 803-815, 2009.

HOOPER, E.; CONDIT, R.; LEGENDRE, P. Responses of 20 native tree species to reforestation strategies for abandoned farmland in Panama. **Ecological Applications**, v. 12, p. 1626-1641, 2002.

INDERJIT; DUKE, S. O. Ecophysiological aspects of allelopathy. **Planta**, v. 217, n. 4, p. 529-539, 2003.

IMATOMI, M.; NOVAES, P.; MATOS, A. P.; GUALTIERI, S. C.; MOLINILO, J. M.; LACRET, R.; MACÍAS, F. A. Phytotoxic effect of bioactive compounds isolated from *Myrcia tomentosa* (Myrtaceae) leaves. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 46, p. 29-35, 2013.

JACOBI, U. S.; FERREIRA, A. G. Efeitos alelopáticos de *Mimosa bimucronata* (DC.) sobre espécies cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 7, p. 935-943, 1991.

JIMÉNEZ-OSORNIO, F. M. V. Z. J.; KUMAMOTO, J.; WASSER, C. Allelopathic Activity of *Chenopodium ambrosioides* L. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 24, n. 3, p. 195-205, 1996.

JONES, E. R.; WISHNIE, M. H.; DEAGO, J.; SAUTU, A.; CERESO, A. Facilitating natural regeneration in *Saccharum spontaneum* (L.) grasslands within the Panama Canal watershed: effects of tree species and tree structure on vegetation recruitment patterns. **Forest Ecology and Management**, v. 191, p. 171-183, 2004.

KHALIQ, A.; MATLOOB, A.; KHAN, M. B.; TANVEER, A. Differential suppression of rice weeds by allelopathic plant aqueous extracts. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 21-28, 2013.

KONG, C.; XU, X.; ZHOU, B.; HU, F.; ZHANG, C.; ZHANG, M. Two compounds from allelopathic rice accession and their inhibitory activity on weeds and fungal pathogens. **Phytochemistry**, v. 65, n. 8, p. 1123-1128, 2004.

MACÍAS, F. A.; MOLINILO, J. M. G.; OLIVEROS-BASTIDA, A.; MARÍN, D.; CHINCHILLA, D. Allelopathy: a natural strategy for weed control. **Communications in Applied. Biological Science**, v. 69, n. 3, p. 13-23, 2004.

MACÍAS, F. A.; CASTELLANO, D.; MOLINILLO, J. M. G. Search for a standard phytotoxic bioassay for allelochemicals: selection of standard target species. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p. 2512-2521, 2000.

MACÍAS, F. A.; VELASCO, R. F.; VIÑOLO, V. M. I.; CASTELLANO, D.; GALINDO, J. C. G. Cluster analysis: a valuable tool for allelopathic SAR studies? In: REIGOSA, M. J.; PEDROL, N. (Ed.). **Allelopathy: from molecules to ecosystems**. Science Publishers, 2002. p. 305-316.

MAGALHÃES, A. C. Efeito inibidor de extratos de plantas de feijão-de-porco sobre o desenvolvimento da tiririca. **Bragantia**, v. 23, p. 29-34, 1964.

MARTÍNEZ-PEÑALVER A.; GRAÑA E.; REIGOSA M. J.; SÁNCHEZ-MOREIRAS A. M. The early response of *Arabidopsis thaliana* to cadmium- and copper-induced stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 78, p. 1-9, 2012.

MATTICE, J. D.; DILDAY, R. H.; GBUR, E. E.; SKULMAN, B. W. Barnyardgrass growth inhibition with rice using high-performance liquid chromatography to identify rice accession activity. **Agronomy Journal**, v. 93, n. 1, p. 8-11, 2001.

MIRÓ, C. P.; FERREIRA, A. G.; AQUILA, M. E. A. Alelopatia de frutos de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) no desenvolvimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 8, p. 1261-1270, 1998.

MORAES, L. F. D.; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A. Restauração florestal: do diagnóstico de degradação ao monitoramento das ações. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 2, p. 437-451, 2010.

MÜLLER, W. H.; HAUGE, H. Volatile growth inhibitors produced by *Salvia leucophylla*: effect on seedling anatomy. **Bulletin of the Torrey Botanical Club**, v. 94, p. 182-191, 1967.

OLIVEIRA, S. C. C.; FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. Efeito alelopático de folhas de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. (Solanaceae) na germinação e crescimento de *Sesamum indicum* L. (Pedaliaceae) sob diferentes temperaturas. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, n. 3, p. 401-406, 2004.

OLIVEIRA, D. C.; SOARES, G. L. G.; ISAIS, R. M. S. Phytotoxicity of the extracts of *Lonchocarpus muehlbergianus* Hassl. (Fabaceae) leaflets and galls on seed germination and early development of lettuce. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 4, p. 1095-1100, 2008.

PAWLOWSKI, A.; SOARES, G. L. G. Inibição da germinação e do crescimento radicial de alface (*Lactuca sativa* cv. Grand Rapids) por extratos alcoólicos de espécies de *Schinus* L. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. S2, p. 666-668, 2008.

PERIOTTO, F.; PEREZ, S. C. J. G. A.; LIMA, M. I. S. Efeito alelopático de *Andira humilis* Mart. ex Benth na germinação e no crescimento de *Lactuca sativa* L. e *Raphanus sativus* L. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 2, p. 415-420, 2004.

PINA, G. O.; BORGHETTI, F.; SILVEIRA, C. E. S.; PEREIRA, L. A. R. Effects of *Eugenia dysenterica* leaf extracts on the growth of sesame and radish. **Allelopathy Journal**, v. 23, n. 2, p. 313-322, 2009.

RADI, P. A.; HERNANDEZ-TERRONES, M. G. Isolamento e identificação de produtos naturais obtidos de plantas com potencial atividade herbicida. **Revista Horizonte Científico**, v. 2, p. 5, 2005.

REIGOSA, M.; GOMES, A. S.; FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. Allelopathic research in Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 27, n. 4, p. 629-646, 2013.

RICE, E. L. **Allelopathy**. 2. ed. Orlando: Academic Press, 1984. 422 p.

RIZVI, S. J. H.; RIZVI, V. Exploration of allelochemicals in improving crop productivity. In: RIZVI, S. J. H.; RIZVI, V. (Ed.). **Allelopathy**: basic and applied aspects. Chapman & Hall, 1992. p. 443-472.

RODRIGUES, I. M. C.; SOUZA FILHO, A. P. S.; FERREIRA, F. A.; DEMUNER, A. J. Prospecção química de compostos produzidos por *Senna alata* com atividade alelopática. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 1-12, 2010.

SAFDAR, M. E.; TANVEER, A.; KHALIQ, A.; NAEEM, M. S. Allelopathic action of *Parthenium* and its rhizospheric soil on maize as influenced by growing conditions. **Planta Daninha**, v. 32, n. 2, p. 243-253, 2014.

SILVA, E. A. S.; LÔBO, L. T.; SILVA, G. A. da; SOUZA FILHO, A. P. S.; SILVA, M. N. da; ARRUDA, A. C.; GUILHON, G. M. S. P.; SANTOS, L. S.; ARRUDA, M. A. S. P. Flavonoids from leaves of *Derris urucu*: assessment of potential effects on seed germination and development of weeds. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 3, p. 881-889, 2013.

SINGH, H. P.; BATISH, D. R.; KOHLI, R. K. Allelopathic interactions and allelochemicals: new possibilities for sustainable weed management. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 22, p. 239-311, 2003.

SOARES, G. L. G.; VIEIRA, T. R. Inibição da germinação e do crescimento radicular de alface (cv. Grand Rapids) por extratos aquosos de cinco espécies de Gleicheniaceae. **Floresta e Ambiente**, v. 7, p. 190-197, 2000.

SOARES, G. L. G.; SCALON, V. R.; PEREIRA, T. O.; VIEIRA, D. A. Potencial alelopático do extrato aquoso de folhas de algumas leguminosas arbóreas brasileiras. **Floresta e Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 119-126, 2002.

SOUZA FILHO, A. P. S.; FONSECA, M. L.; ARRUDA, M. S. P. Substâncias químicas com atividades alelopáticas presentes nas folhas de *Parkia pendula* (Leguminosae). **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 565-573, 2005.

SOUZA FILHO, A. P. S.; BORGES, F. C.; SANTOS, L. S. Comparative analysis of the allelopathic effects of the chemical compounds tithonine and acetylated tithonine. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 205-210, 2006.

SOUZA FILHO, A. P. da S. Interferência potencialmente alelopática do capim-gengibre (*Paspalum maritimum*) em áreas de pastagens cultivadas. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 451-456, 2006.

SOUZA FILHO, A. P. da S. Alelopatia: das primeiras observações aos atuais conceitos. In: SOUZA FILHO, A. P. da S.; ALVES, S. de M. **Alelopatia: princípios básicos e aspectos gerais**. Embrapa Amazônia Oriental, 2002. p. 15-23.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TEJEDA-SARTORIUS, O.; ESCALANTE-ESTRADA, J. A.; SOTO-HERNÁNDEZ, M.; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, M. T.; VIBRANS, H.; RAMÍREZ-GUZMÁN, M. E. Inhibidores de la germinación en el residuo seco del tallo del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). **Revista Sociedad Química de México**, v. 48, p. 118-123, 2004.

THORPE, A. S.; THELEN, G. C.; DIACONU, A.; CALLAWAY, R. M. Root exudate in allelopathic in invaded community but not in native community: field evidence for the novel weapons hypothesis. **Journal of Ecology**, v. 97, p. 641-645, 2009.

VYVYAN, J. R. Allelochemicals as leads for new herbicides and agrochemicals. **Tetrahedron**, v. 58, p. 1631-1646, 2002.

WANDSCHEER, A. C. D.; PASTORINI, L. H. Allelopathic interference of *Raphanus raphanistrum* L. on the germination of *Lactuca sativa* L. and *Solanum lycopersicon* L. **Ciência Rural**, v. 38, n. 4, p. 949-953, 2008.

WEIDENHAMER, J. D.; ROMEO, J. T. Allelopathy as a mechanism for resisting invasion: the case of *Polygonella myriophylla*. In:INDERJIT (Ed.). **Invasive plants: ecological and agricultural aspects**. 2005. p. 167-177.

WHITTAKER, R.; FEENEY, P. Allelochemicals: chemical interactions between species. **Science**, v. 171, p. 757-770, 1971.

WORLD CONGRESS ON ALLELOPATHY. 1., 1996, Cádiz. **A science for the future: book of abstracts**. Cadiz: Universidad de Cadiz: International Allelopathy Society, 1996.

WU, A. P.; YU, H.; GAO, S. Q.; HUANG, Z. Y.; HE, W. M.; MIAO, S. L.; DONG, M. Differential belowground allelopathic effects of leaf and root of *Mikania micrantha*. **Trees**, v. 23, n. 1, p. 11-17, 2009.

Financiamento e Inovação na Produção de Equipamentos Agrícolas

Flavia Cresciulo de Almeida, Guilherme Reis de Carvalho Peres, Thaiz Capdeville Gribel Santos

Introdução

Atualmente, no Brasil, pode-se afirmar que o setor de equipamentos agrícolas nacional exerce função primordial no desenvolvimento da economia. Tal afirmação reside no fato de que o agronegócio, nos últimos anos, tem respondido por grande parte do que é produzido no país, sendo considerado como o principal ramo produtivo nacional e, claramente, este setor está diretamente relacionado a esse resultado.

De fato, sem a atuação do setor de equipamentos, o resultado do agronegócio não seria o mesmo, já que tais máquinas são responsáveis por contribuir com a produtividade e a mecanização de todos os processos afetos à cadeia do setor, desde o preparo, plantio e a fertilização do solo até a colheita, o processamento e o armazenamento do excesso produtivo.

De acordo com o site BrasilAgro, o setor de máquinas e implementos agrícolas, na sua grande maioria, constitui-se de pequenas e médias empresas que atualmente concentram mais de 55 mil trabalhadores qualificados, possui um faturamento estimado de R\$ 5 bilhões e historicamente tem contribuído para a geração de divisas do país.

Dentro do contexto histórico, vale lembrar que a ideia da criação dessas máquinas surgiu a partir da Revolução Industrial, quando se iniciou a construção de instrumentos mecanizados para auxiliar em processos de colheitas e plantios, de maneira que diminuísse o processo manual e acelerasse a produção. Nesse período, iniciou-se o desenvolvimento de máquinas agrícolas autopropulsadas (veículos automotores, basicamente tratores e colheitadeiras) e outros equipamentos que hoje são instrumentos utilizados no auxílio de atividades agrícolas de alta produção.

No Brasil, o desenvolvimento deste setor se iniciou com maior pujança nas regiões agrícolas mais tradicionais, como no interior de São Paulo, norte do Rio Grande do Sul e em Santa Catarina. Efetuando uma análise histórica no país, pode-se afirmar que, inicialmente, as inovações do setor eram voltadas ao desenvolvimento de maquinário rudimentar que levasse em consideração

a magnitude dos sertões brasileiros e a adaptação de culturas para solo e clima.

Mais tarde, com o apoio de instituições de pesquisa com maior conhecimento tecnológico, como a Embrapa, e com o auxílio de industriais pioneiros e de agricultores empreendedores, a agricultura brasileira se tornou uma das mais produtivas, inovadoras e mecanizadas do mundo, desenvolvendo maquinários agrícolas de ponta.

O presente artigo visa abordar o tema financiamento e inovação na produção de equipamentos agrícolas. Para tal, optou-se por organizar o estudo da seguinte forma: a seção 2 analisa a estrutura atual e a evolução do mercado de equipamentos voltados ao agronegócio; a seção 3 aborda o tema inovação, inferindo como ela se dá e qual o impacto das atividades inovadoras no setor; a seção 4 relata quais as principais agências de financiamento de inovação mundiais e suas formas de apoio; já a seção 5 traz análise análoga à anterior tendo como foco o Brasil e, finalmente, a seção 6 apresenta as conclusões acerca do tema e propõe rotas a serem seguidas a fim de incentivar a inovação no setor, tendo como foco a atuação da Finep.

Estrutura e Evolução de Mercado

Analisando friamente o setor, pode-se afirmar que o Brasil faz parte de um grupo seleto de países fabricantes de máquinas e equipamentos agrícolas. Segundo o *Global Agribusiness Forum*, do Canal Rural, atualmente o país é o 14º maior produtor mundial, e suas exportações correspondem a 30% do volume total produzido no país.

Os principais clientes deste portfólio agrícola em geral são os grandes e pequenos produtores e empresas agrícolas. Analisando o lado da demanda, vemos a crescente procura por mecanização e, dessa forma, equipamentos agrícolas que utilizam tecnologias cada vez mais avançadas são importantes elementos a serem estudados e foco das inovações setoriais.

Em setembro de 2014, a Anfavea divulgou uma revisão para o setor de máquinas agrícolas em razão do desempenho apresentado por ele. No início do ano, havia uma previsão de estabilidade para as vendas e produção, diante do recorde de 2013. Porém, pelo exposto, é prevista queda na comercialização e produção de máquinas e equipamentos agrícolas em 2014, e muito desse cenário de queda produtiva se deve ao atual fraco ritmo do crescimento econômico, não só no país, mas no mundo.

Em recente entrevista ao jornal Zero Hora, Andrei Gazzana, gerente

geral de negócios de revenda, comunicou que tiveram muitas encomendas. Contudo, a falta de liberação dos bancos retraiu os pedidos. Para a mesma reportagem, Claudio Bier, presidente do Simers – Sindicato das Indústrias de Máquinas e Implementos Agrícolas do Rio Grande do Sul, afirmou que a liberação de verbas no BNDES no ano foi muito baixa.

Apesar da queda de 20% de janeiro a junho em comparação com 2013, os empresários apostam numa melhora para o final de 2014. Para melhorar as vendas, as revendedoras reduziram a margem de lucro e buscam formas alternativas de atrair consumidores. A previsão da Anfavea é de que o ano termine com queda inferior a 12% no comparativo com 2013. Recente reportagem do Valor Econômico corrobora tal informação. Segundo o jornal, as vendas internas devem cair 12%, de 83 mil unidades comercializadas em 2013, para 73 mil unidades em 2014 (o número inclui um percentual pequeno de máquinas rodoviárias).

Já de acordo com as informações divulgadas pela Anfavea, a produção de máquinas deve atingir 87 mil unidades. A previsão para exportações de máquinas agrícolas projeta 14 mil unidades, redução de 10,3% sobre as 15,6 mil unidades comercializadas para o exterior em 2013.

Por fim, vale citar que, como o Brasil é um grande produtor mundial de commodities agrícolas, pode-se considerar que o setor ainda possui grande possibilidade de desenvolvimento. Os principais players do setor são multinacionais, o que reforça a necessidade de que as empresas nacionais cresçam nesse mercado e adquiram participação relevante reduzindo, dessa forma, a dependência externa e estimulando a concorrência.

Inovação

A inovação é apontada como um dos caminhos mais importantes para a manutenção da competitividade das empresas. Dentro do setor do agronegócio, que é um dos que mais cresceu no Brasil nos últimos anos e que sustenta grande parte da economia brasileira, a inovação tecnológica ganhou destaque.

Segundo o Manual de Oslo, principal referência de análise da FINEP, inovação tecnológica de processo é a utilização de novos (ou significativamente aperfeiçoados) métodos de produção. Isso pode envolver mudanças no equipamento ou na organização e também podem decorrer do uso do novo conhecimento adquirido. Esses métodos pretendem produzir ou entregar produtos tecnologicamente novos ou bem aprimorados, impossíveis

de serem produzidos ou entregues da maneira convencional de produção e/ou têm o objetivo de aumentar a produção ou eficiência na entrega de produtos existentes.

Baseado nessa definição, pode-se afirmar que, na cadeia do agronegócio nacional, a indústria de máquinas e implementos agrícolas concentra grande parte das inovações tecnológicas. O pujante crescimento do agronegócio é o que impulsiona cada vez mais esse segmento inovador para que a produção, cada vez maior, atenda à demanda e às expectativas de expansão da área e produtividade.

De fato, a agropecuária é um setor que apresenta crescimento ascendente no Brasil. O PIB da agropecuária subiu 3,6 pontos percentuais no primeiro trimestre de 2014 em relação ao quarto trimestre de 2013, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Comparando com o ano passado, o PIB agropecuário teve alta de 2,8%. Assim, afirma-se que o setor registrou o maior crescimento, sob a ótica da produção, no primeiro trimestre em relação ao período imediatamente anterior.

No tocante a suas características, pode-se afirmar que o setor agropecuário tem diversas particularidades já que é dependente e condicionado por condições locais (como solo, vegetação, relevo, clima, tipo de cultura) que tornam os desenvolvimentos únicos para diferentes regiões. Uma colheitadeira ou plantadeira que funciona adequadamente em solos brasileiros, muitas vezes não funciona tão bem em outros países ou até mesmo em outro estado do mesmo país. Dessa forma, fica evidente que este setor deve ser, até mesmo por suas peculiaridades, altamente intensivo em inovação.

No entanto, quando uma empresa de máquinas e equipamentos agrícolas busca inovar, muitas incertezas a cercam, como, por exemplo, no processo produtivo, na reação do mercado (demanda e concorrência) e na gestão. O processo de inovação pode ser comprometido por conta de uma má administração financeira, desorganização operacional, erro de estratégia e marketing, entre outros fatores.

Além desses desafios, a dificuldade de aceitação da inovação no mercado e/ou problemas na produção em escala podem também prejudicar e bloquear uma adesão à inovação. Tais problemas produtivos podem surgir, por exemplo, materializados no baixo rendimento, no alto custo frente ao preço sugerido e na baixa confiabilidade do processo de produção. Fatores externos, como uma eleição presidencial ou mudanças na política econômica,

que atingem de maneira indireta um processo de produção, também precisam da atenção e análise técnica do empresário.

Logo, essa exclusividade do setor cria um ambiente extremamente competitivo e favorável ao crescimento e expansão das empresas instaladas no Brasil. Além dos objetivos de criar soluções para as condições ambientais e climáticas, com o surgimento da competição, ganha espaço a necessidade da atualização tecnológica e da própria inovação.

Mecanismos de Financiamentos à Inovação no Mundo

A importância da inovação circula pelo mundo e é bem difundida em países desenvolvidos, como Canadá, Inglaterra e Suécia. Essa seção do artigo visa abranger de forma sintética algumas das principais instituições internacionais que representam a inovação através de sua função de financiamento, expor seus valores e sua responsabilidade de atuação pelo mundo.

Em relação ao Canadá, a *Canada Foundation for Innovation* (CFI) é a instituição mais representativa e de maior reconhecimento do país. Criada pelo governo em 1997, a instituição visa aumentar a capacidade de realizar pesquisas e desenvolver tecnologias em benefício dos canadenses. A infraestrutura financiada pelo CFI inclui os equipamentos, laboratórios, bancos de dados, amostras, coleções científicas, hardwares e softwares de computador e todas as obras de infraestrutura necessárias para conduzir pesquisas de ponta.

A instituição segue o preceito de que, quando se alcança o estado da arte, os pesquisadores tornam-se aptos a impulsionar as fronteiras tecnológicas, explorar o desconhecido e gerar resultados inovadores que beneficiam diretamente a humanidade. A CFI ajuda instituições a atrair, reter e treinar os melhores pesquisadores de todo o mundo e promove a colaboração entre os setores acadêmico, privado e público, e atua sem fins lucrativos em uma série de projetos e em muitas disciplinas. As plataformas sólidas de infraestrutura de pesquisa que estão sendo criadas em instituições canadenses estão servindo de apoio à inovação empresarial e de pesquisa e também para o desenvolvimento do setor privado.

Na Inglaterra, a *Innovate UK* é uma organização que visa financiar, apoiar e integrar empresas inovadoras para acelerar o crescimento econômico sustentável. Tem como responsabilidades fornecer suporte para pequenas e médias empresas com elevado potencial de crescimento e inovação; fomentar

as empresas inovadoras a trabalhar com parceiros para que suas ideias possam ser desenvolvidas comercialmente e, além disso, identificar e investir nos setores que têm maior potencial de inovação para acelerar o crescimento econômico.

Nesse contexto, a *Innovate UK* objetiva futuramente desenvolver programas de transferência de conhecimento, conhecidos na Inglaterra como *Knowledge Transfer Network* e *Knowledge Transfer Partnerships*. Além disso, a instituição lança periodicamente editais para acesso a fundos do governo para expansão da inovação em setores como energia, tecnologia, saúde e transportes.

No caso da Suécia destaca-se a *Vinnova*, instituição que pretende fazer do país um líder mundial em pesquisa e inovação, atraindo novos negócios para o país. A *Vinnova* visa promover a colaboração entre empresas, universidades, institutos de pesquisa privados e do setor público com o objetivo principal de estimular um maior uso da pesquisa, fazendo investimentos de longo prazo em fortes meios de inovação. As atividades da instituição se concentram no fortalecimento da cooperação internacional a fim de aumentar o impacto no mercado e também interagir com outros financiadores de pesquisa e organizações de promoção da inovação.

Nesse contexto, ainda vale citar outros países mundialmente conhecidos pelas suas empresas inovadoras e pelos seus amplos programas de incentivo à inovação. Dentre esses, destacam-se os Estados Unidos, a Coreia do Sul, o Japão e, ultimamente crescendo com maior pujança através de diversas atividades ligadas à inovação, a China. Por fim, vale citar que para o Brasil alcançar efetiva posição de destaque no cenário mundial não há outro caminho a seguir senão o da inovação. As atividades inovadoras são o principal indutor do crescimento da produtividade e, conseqüentemente, do crescimento econômico da nação.

Financiamento para inovação no Brasil

A Finep - Inovação e Pesquisa – é uma empresa pública vinculada ao MCTI. Foi criada em 1967, para institucionalizar o Fundo de Financiamento de Estudos de Projetos e Programas, criado em 1965. Posteriormente, a Finep ampliou o papel até então exercido pelo BNDES e seu Fundo de Desenvolvimento Técnico-Científico (FUNTEC), constituído em 1964 com a finalidade de financiar a implantação de programas de pós-graduação nas universidades brasileiras.

Com a criação do FNDCT - Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, destinado a financiar a expansão do sistema de Ciência e Tecnologia (C&T), a Finep passou a atuar como sua Secretaria Executiva. Na década de 1970, a instituição promoveu certa mobilização na comunidade científica ao financiar a implantação de novos grupos de pesquisa, a criação de programas temáticos, a expansão da infraestrutura de C&T e a consolidação institucional da pesquisa e da pós-graduação no país. Estimulou também a articulação entre universidades, centros de pesquisa, empresas de consultoria e contratantes de serviços, produtos e processos.

Portanto, desde seus primórdios, a Finep visa transformar o Brasil por meio da Inovação, com o objetivo de promover o desenvolvimento econômico e social do Brasil por meio do fomento público à Ciência, Tecnologia e Inovação em empresas, universidades, institutos tecnológicos e outras instituições públicas. Sua atuação é realizada em toda a cadeia da inovação, com foco em ações estratégicas, estruturantes e de impacto para o desenvolvimento sustentável do Brasil.

A política da Finep é um instrumento que visa elevar o nível tecnológico do parque produtivo nacional, de modo a torná-lo apto a fazer frente aos desafios prevaletentes nos mercados nacional e internacional. Nas considerações acerca da elegibilidade de um projeto para apoio da Finep, deverão também ser levantados diversos aspectos, como o enquadramento nas suas linhas de ação e programas da sua política operacional.

Somado a isso, o financiamento é oferecido visando apoiar o desenvolvimento econômico e tecnológico nacional, com taxas subsidiadas, com o intuito de apoiar as atividades que apresentem maior risco tecnológico, as quais as empresas não tirariam do papel sem esse capital mais “barato”. A Finep dispõe, atualmente, de três instrumentos de apoio, a saber: financiamento reembolsável, financiamento não reembolsável e investimento.

Embora a promoção da inovação guarde estreita relação com o desempenho econômico das empresas e setores econômicos, nas análises efetuadas pela Finep são considerados outros aspectos para o apoio às demandas postulantes, tais como promoção do desenvolvimento local, nacionalização das cadeias de produção, internacionalização de empreendimentos brasileiros e outros objetivos estratégicos para o desenvolvimento econômico nacional.

Como já citado, a Finep oferece linhas de crédito com taxas de juros

inferiores às que se encontram nos bancos comerciais e limita-se a apoiar planos de negócios que sejam enquadrados como inovadores. Tal apoio é oferecido pela Finep a planos que possuam aderência às seguintes linhas de ação: Inovação Pioneira, Inovação Contínua, Inovação e Competitividade, Inovação em Tecnologias Críticas e Pré-Investimento.

Os projetos apoiados na linha “Inovação Pioneira” recebem apoio a todo o ciclo de desenvolvimento tecnológico, desde a pesquisa básica ao desenvolvimento de mercados para produtos, processos e serviços inovadores, contanto que o resultado final seja, no mínimo, uma inovação para o mercado nacional e contribua significativamente para o aumento da oferta em setores concentrados.

Já a linha de “Inovação Contínua” pressupõe apoio às empresas que desejam implantar centros de P&D próprios ou contratar outros centros de pesquisa nacionais. Essa linha tem como objeto fortalecer as atividades de P&D compreendidas na estratégia empresarial de médio e longo prazos. Ainda, a linha de ação “Inovação e Competitividade” abrange os projetos destinados ao desenvolvimento e/ou aperfeiçoamento de produtos, processos e serviços, aquisição e/ou absorção de tecnologias, de modo a consolidar a cultura do investimento em inovação como fator relevante nas estratégias competitivas empresariais.

No que se refere às Tecnologias Críticas, pode-se afirmar que são aquelas que visam atender às necessidades econômicas e sociais futuras do país e, por isso, têm longo prazo de maturação e demandam grande esforço de pesquisa pelas empresas; e, por fim, o apoio aos gastos com o Pré-Investimento inclui estudos de viabilidade técnica e econômica a fim de preparar a estrutura inicial para que o plano de inovação da empresa saia do papel.

De acordo com a política operacional vigente, a participação da financiadora no valor total do projeto, a taxa de juros cobrada e os prazos oferecidos podem variar conforme o enquadramento dado na análise técnica.

Quanto aos planos de desenvolvimento levados em conta pela Finep, o Plano de Desenvolvimento da Agropecuária é de alta relevância. A empresa possui um departamento dedicado exclusivamente ao setor de Agronegócios e Alimentos (DAGN), o que explicita a importância desse mercado. Vale ressaltar que o apoio via financiamento reembolsável, efetuado de forma direta pela Finep, vale apenas para empresas que tenham a receita operacional líquida igual ou superior a R\$ 90 milhões ou que pleiteiem plano

de inovação com valor mínimo orçado em R\$ 10 milhões.

Por fim, é preciso que haja, por parte da empresa interessada, a preocupação de que o projeto a ser financiado contribua através da inovação para o melhoramento e desenvolvimento de todo o seu processo produtivo, contribuindo, assim, para elevar o nível tecnológico de todo o parque produtivo nacional do setor em que atua.

Ademais, vale citar que, desde 2011 até o final de 2014, a FINEP, o BNDES e outros órgãos públicos participam, através do lançamento de editais, do plano intitulado Inova Empresa. Esta iniciativa tem como objetivo fomentar projetos de apoio à inovação em várias áreas consideradas estratégicas pelo Governo Federal. O Inova Empresa já teve vários planos abertos, como o Inova Agro, Inova Telecom, Inova Saúde e Inova Sustentabilidade, além do PAISS e do PAISS Agrícola.

Conclusão

Hoje em dia, a inovação é apontada como um dos caminhos mais importantes para a manutenção da competitividade das empresas. No que diz respeito às máquinas e aos equipamentos agrícolas, a inovação fatalmente ajudará o agronegócio nacional a sair de um quadro desfavorável, já que 2014 foi um ano de quedas nas vendas em relação ao ano anterior. Tal resultado é esperado também quando a economia está aquecida, visto que a busca por melhorias tecnológicas sempre irá gerar avanços no setor.

É sabido que a demanda por equipamentos e máquinas agrícolas é muito abrangente, incluindo pequenos produtores até grandes empresas consolidadas no mercado mundial. Portanto, se há avanços ou busca por melhorias no campo, as máquinas e os equipamentos precisam acompanhar o quadro evolutivo de seu setor. Vale ressaltar que o avanço tecnológico ganha cada vez mais destaque no agronegócio brasileiro, gerando benefícios para diferentes tipos de produtos.

Nesse contexto, pode-se afirmar que a Finep possui papel importante, visto que financia e apoia o desenvolvimento da inovação tecnológica de máquinas e equipamentos agrícolas, com recursos mais acessíveis a empresas de diferentes portes, estimulando a competitividade e a economia brasileira como um todo. Apoiar as empresas de base tecnológica é um dos principais objetivos da instituição.

Por fim, vale reafirmar que a Finep é uma instituição governamental que estimula e fomenta a inovação em todos os setores produtivos,

aumentando assim a sua produtividade, competitividade e eficiência. A empresa possui a mais consolidada e significativa participação no financiamento tecnológico no mercado nacional, com capacidade de transformar, ampliar e impulsionar, por meio da inovação, o mercado de máquinas e equipamentos agrícolas do Brasil, exercendo assim atividades de extrema importância para o desenvolvimento desse mercado.

Referências

BNDES. **Plano Inova Empresa**. Disponível em:

<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Plano_inova_empresa>. Acesso em: 29 out. 2014.

CANADA FOUNDATION FOR INNOVATION. **How we invest**. Disponível em:

<<http://www.innovation.ca/en/OurInvestments/Howweinvest>>. Acesso em: 06 nov. /2014.

CANAL RURAL. **Global Agribusiness Forum fala sobre o mercado de máquinas agrícolas:**

Brasil é 14º produtor mundial exporta 30% da produção. Disponível em:

<<http://canalrural.ruralbr.com.br/noticia/2014/04/global-agribusiness-forum-fala-sobre-o-mercado-de-maquinas-agricolas-4473891.html>>. Acesso em: 31 out. 2014.

CANAL RURAL. **PIB da agropecuária cresce 3,6% no primeiro trimestre, diz IBGE:** soja, arroz e algodão contribuíram para o aumento. 2014. Disponível em:

<<http://agricultura.ruralbr.com.br/noticia/2014/05/pib-da-agropecuaria-cresce-3-6-no-primeiro-trimestre-diz-ibge-4513810.html>>. Acesso em: 29 out. 2014.

CASTRO, B. H. R. de. **Estratégias de inovação:** um estudo na indústria de máquinas e implementos agrícolas no Brasil. 2004. 113 p. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em:

<http://www.coppead.ufrj.br/upload/publicacoes/Bernardo_Castro.pdf>. Acesso em: 27 out. 2014.

COLUSSI, J. **Revenda de máquinas agrícolas apostam em ações para reduzir queda nas vendas.** Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/campo-e-lavoura/noticia/2014/07/revendas-de-maquinas-agricolas-apostam-em-aco-es-para-reduzir-queda-nas-vendas-4554728.html>>. Acesso em: 19 nov. 2014.

FINEP. **PAISS Agrícola**. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/programas-e-linhas/programas-inova/paiss-agricola>>. Acesso em: 03 nov. 2014.

FINEP. **Política operacional**. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/a-finep-externo/politica-operacional>>. Acesso em: 30 out. 2014.

GOV.UK. Innovate UK. Disponível em:

<<https://www.gov.uk/government/organisations/innovate-uk>>. Acesso em: 07 nov. 2014.

LIMA, N. Novos incentivos aos implementos agrícolas: a consolidação da política de competitividade. **Brasil Agro**, 26 maio 2014. Disponível em:

<http://www.brasilagro.com.br/conteudo/novos-incentivos-aos-implementos-agricolas-a-consolidacao-da-politica-de-competitividade-newton-lima.html#.VFfEQfCLF_FB>. Acesso em: 29 out. 2014.

MANUAL de Oslo. Disponível em:

<http://download.finep.gov.br/imprensa/manual_de_oslo.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2015.

ÚNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Para UNICA, **PAISS Agrícola é contribuição positiva e oportuna para o setor sucroenergético**. Disponível em:

<<http://www.unica.com.br/noticia/21209732920323122056/para-unica-por-cento2C-paiss-agricola-e-contribuicao-positiva-e-oportuna-para-o-setor-sucroenergetico>>. Acesso em: 03 nov. 2014.

VALOR ECONÔMICO. **Anfavea reduz previsões para o setor de máquinas agrícolas este ano**.

Disponível em: <<http://economia.uol.com.br/noticias/valor-online/2014/07/07/anfavea-reduz-previsoes-para-setor-de-maquinas-agricolas-este-ano.htm>>. Acesso em: 05 nov. 2014.

VIVONNA. **Vinnova develops Sweden's innovation capacity for sustainable growth**.

Disponível em: <<http://www.vinnova.se/en/About-VINNOVA>>. Acesso em: 07 nov. 2014.

Método de controle físico de plantas daninhas com alta temperatura - Flamejamento

Marcos Roberto da Silva, Thiago de Santana Marques,
Sérgio Augusto Hiroaki Kurachi, Afonso Peché Filho,
Luiz Antonio Daniel

Introdução

O processo de modernização da produção agrícola mundial e nacional tem cada vez mais incorporado conceitos e práticas que refletem as crescentes demandas pelo respeito aos aspectos econômicos, sociais e ambientais, tanto por parte do produtor quanto do consumidor. A adequação aos fatores referidos deve ser realizada de forma integrada, uma vez que os elementos e fenômenos envolvidos em um sistema produtivo interagem de forma simultânea. Por esta razão, os administradores rurais devem assumir uma postura empresarial, abrangente no que se refere à organização da sua atividade, mas com foco nos detalhes que possam fornecer informações valiosas para embasar as decisões tomadas.

O controle de plantas daninhas, competidoras por água, luz e nutrientes, com as plantas cultivadas é um elemento central no sistema produtivo, que implica impactos do ponto de vista econômico e também impactos sobre os seres humanos e o ambiente. O uso contínuo e indiscriminado de herbicidas tem comprometido inclusive a eficiência desse controle ao promover a seleção de espécies resistentes aos princípios ativos dos produtos aplicados.

Por serem convenientes, fáceis, eficazes, flexíveis e razoavelmente baratos, os herbicidas correspondem à forma mais utilizada de controle de plantas daninhas na maior parte do mundo, perfazendo uma parcela significativa dos investimentos realizados pelos produtores agrícolas em suas atividades. No entanto, a pressão pelo abandono ou redução do seu emprego é crescente ao redor do mundo, especialmente em mercados importantes como o da União Europeia, bastante restritivo aos gêneros agrícolas produzidos com o uso de agrotóxicos (Silva, 2008).

Quando se trata dos sistemas de produção orgânica, nos quais o uso de herbicidas sintéticos é proibido, o manejo das plantas daninhas deverá ser realizado com o uso de tecnologias alternativas. Essas plantas possuem

germinação escalonada (em razão da dormência) e produção de grande número de sementes, alta capacidade de absorção de nutrientes e de água, bem como um eficiente uso da luz. Além disso, muitas espécies são responsáveis por produzir substâncias químicas que podem interferir no desenvolvimento das culturas (alelopatia). Por esses motivos, as plantas daninhas estão sempre presentes em áreas de produção, sendo consideradas um dos fatores preponderantes na perda de produtividade agrícola. Por causa das dificuldades em se obter eficiente manejo das plantas daninhas por método alternativo, estas tornam-se um dos maiores entraves enfrentados por aqueles produtores que desejam migrar do sistema convencional para o orgânico (Favarato et al., 2016).

Os produtores que não podem usar herbicidas químicos no manejo das plantas daninhas, como é o caso dos produtores orgânicos, ou mesmo aquelas empresas que adotam o manejo integrado com o intuito de reduzir a utilização desses produtos, demandam alternativas eficientes para o controle de plantas daninhas. Segundo Baker e Brown-Rosen (2007), os vários herbicidas naturais, de menor toxidez, apresentam limitações em sua eficácia, especialmente no controle de plantas daninhas perenes. Os mico-herbicidas têm demonstrado resultados positivos como alternativa biológica de controle, mas ainda requerem aprimoramentos, por causa do efeito sobre plantas não alvo.

Dentre essas alternativas, é possível destacar os métodos físicos de controle, que devem ser incorporados a um programa de manejo integrado, haja vista a dificuldade que eles apresentam no controle de forma isolada das plantas daninhas, em razão de fatores como espécie, capacidade de rebrotabilidade da planta no controle, número de aplicações necessárias para eficiente controle, densidade populacional, cobertura do solo e influência das variáveis climáticas (Silva, 2008).

Dentre os métodos físicos, os mais comuns são o emprego de cobertura morta sobre o solo, a inundação, a utilização de descargas elétricas sobre as plantas daninhas e os métodos térmicos, que tanto podem se basear na aplicação de baixas temperaturas, via congelamento ou na exposição dos alvos do controle utilizando altas temperaturas através de água quente, micro-ondas, vapor e o flamejamento. Este último consiste na transmissão de calor de forma direta através da aplicação de chamas (“lança chamas” – convecção térmica) ou indireta pela radiação térmica (infravermelho). A tecnologia é utilizada por agricultores orgânicos da Europa e dos Estados Unidos há

décadas. No Brasil, o emprego da tecnologia ainda é incipiente, restrito essencialmente a ensaios realizados com o intuito de validar o seu uso. Por esta razão, faz-se necessário apresentá-la apropriadamente ao público nacional.

Histórico do flamejamento

A história do flamejamento como método de controle de plantas daninhas remonta ao ano de 1852 quando o norte-americano John A. Craig patenteou uma máquina de flamejamento para uso em canaviais (Stepanovic, 2013). Utilizada pela primeira vez em larga escala em 1938, por um agricultor do Alabama (EUA), a técnica foi empregada com sucesso em lavouras de milho e algodão. Até então, os combustíveis empregados nas operações eram líquidos (querosene e óleo) e, a partir da metade dos anos 1940, ocorreu a substituição pelo gás liquefeito de petróleo (GÁS LP), isto é, uma mistura de propano e butano – hidrocarbonetos.

Nas duas décadas seguintes, a utilização do flamejamento cresceu ao ponto de, nos anos 1960, existirem em torno de 15.000 flamejadores nos campos dos Estados Unidos. O flamejamento seletivo foi desenvolvido nesse período para diversas culturas, como algodão, soja, sorgo, feijão e milho. Nessa época, já havia pesquisas que comprovavam a eficácia da técnica para o controle de plantas daninhas em cerca de quarenta culturas (Stepanovic, 2013).

Ainda na década de 1960, o uso de flamejadores decaiu por causa da alta no preço dos combustíveis fósseis e do aparecimento dos herbicidas. Estes fatos promoveram, em pouco tempo, a substituição desta técnica. O uso de flamejadores foi resgatado por agricultores orgânicos entre os anos de 1980 e 1990 (Diver, 2002).

A técnica ganhou notoriedade na Europa a partir da década de 1970, quando agricultores orgânicos passaram a utilizá-la com maior frequência no controle não seletivo de plantas daninhas na olericultura, nas culturas em fileiras com espaçamentos largos, na dessecação de ramas de batata e também em áreas urbanas (Ascard, 1995).

No Brasil, o flamejamento é relativamente pouco disseminado. Dentre os poucos produtores que adotam a técnica, é ainda mais reduzido o número daqueles que dominam as especificidades de aplicação, de eficiência, segurança e tipos dos equipamentos empregados. Os relatos da sua utilização inapropriada retratam uma baixa eficiência, com frequente destruição das

plantas cultivadas.

O fato de os flamejadores ainda não serem produzidos em escala comercial no Brasil limita o desenvolvimento da técnica no País. No entanto, em 1999, numa força tarefa da Companhia Ultragaz para aplicação efetiva do GÁS LP no meio agrícola e disseminação da técnica entre os produtores brasileiros, a empresa num primeiro momento importou diferentes equipamentos e, posteriormente, estimulou o desenvolvimento por fabricantes de máquinas agrícolas nacionais, no intuito de adequá-los às especificidades de uso no País. O primeiro parceiro industrial foi a Empresa Antoniosi, com o suporte de especialistas da Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI da Unicamp. A Figura 1 mostra o material publicitário da Cia Ultragaz, apresentando o primeiro flamejador desenvolvido no Brasil para aplicação em área total e nas entrelinhas das culturas perenes. A partir desse período, vários trabalhos técnicos foram realizados para o emprego da técnica em diferentes culturas e áreas não agrícolas no Brasil.

O primeiro experimento conduzido no Brasil com máquinas flamejadoras foi realizado na Unesp-Jaboticabal para avaliar o efeito do calor sobre as plantas daninhas, banco de sementes e atividade microbiana em um pomar de citros. Neste estudo, o melhor tratamento no controle das plantas daninhas foi utilizando-se uma velocidade reduzida de $1,41 \text{ km h}^{-1}$ comparada com a velocidade de $3,75 \text{ km h}^{-1}$ e com o uso de glyphosate e paraquat (Silva; Daniel, 2006).

O flamejamento foi utilizado em Itapetininga-SP na dessecação das ramas de batata, obtendo ótimos resultados para quatro tratamentos, variando a velocidade de deslocamento. Ao utilizar queimadores direcionados para as leiras, o controle foi mais eficiente, verificando-se um menor consumo de GLP em comparação à aplicação em área total (Silva et al., 2007).



Crédito: Marcos Roberto da Silva

Figura 1. Primeiro equipamento desenvolvido pela Cia Ultragaz em parceria com a Antoniosi Tecnologia Agroindustrial Ltda. (2000).

Após esse período, a demanda passou a ser alta pelos testes e uso dos flamejadores por causa da divulgação da técnica em feiras, exposições, palestras e demonstrações em diferentes locais do país. O equipamento tem sido procurado por um número crescente de agricultores orgânicos, especialmente entre os produtores de cana-de-açúcar (para a produção do açúcar), café, citros, milho, algodão, soja e batata (para a dessecação das ramas) (Marchi & Silva & Marchi, 2008).

Diante do caráter inovativo do método para aplicação no Brasil e as peculiaridades das máquinas flamejadoras, agências de fomento financiaram projetos para a realização de estudos. O primeiro financiamento foi realizado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – Fapesp, através da linha de fomento de auxílio Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas – PIPE, no projeto intitulado “Desenvolvimento de máquinas flamejadoras para aplicação agrícola”. Protagonizaram esta pesquisa tecnológica a Faculdade de Engenharia Agrícola/Unicamp, o Centro de Engenharia e Automação de Jundiaí do Instituto Agrônomo de Campinas – APTA-CEA/IAC, Antoniosi Tecnologia Agroindustrial Ltda e Cia Ultragaz (Silva, 2008).

Como parte do desenvolvimento dessa pesquisa, foi defendida a tese de doutorado de autoria do engenheiro agrônomo Marcos Roberto da Silva, intitulada “Eficiência de flamejadores no controle de plantas daninhas”, no Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, em 2008. O objetivo da tese foi avaliar dois protótipos de equipamentos flamejadores em laboratório, um de chama direta e outro de radiação infravermelha, no controle de plantas daninhas na fase pós-emergência (Silva, 2008). Na Figura 2, observa-se o aparato de pesquisa para testes em laboratório com flamejadores, desenvolvido no Centro de Engenharia e Automação do Instituto Agrônomo de Campinas em Jundiaí.



Figura 2. Aparato desenvolvido para pesquisa com flamejadores em laboratório financiado pela Agência Fapesp. (A) Avaliação de consumo de Gás LP dos queimadores; (B) Canteiro artificial para validação dos protótipos flamejadores, aplicando calor em diferentes espécies de plantas daninhas; (C) Detalhe do resultado da aplicação do calor sobre espécies estudadas.

Em 2012, a Cia Ultragaz através de uma chamada interna selecionou projetos para estruturar o “Desenvolvimento de novas aplicações de Gás LP nos mercados empresariais da Ultragaz no Brasil”. Todos os projetos deveriam ter o caráter inovativo. O projeto “Aplicação de Gás LP na Agricultura” teve como objetivo desenvolver sistemas para o controle de plantas daninhas, pragas e doenças na agricultura, reduzindo/substituindo a utilização de agroquímicos. Este mesmo projeto foi aprovado para financiamento pela Financiadora de Estudos e Projetos-FINEP, no Programa Inova Brasil. Nessa nova etapa, o foco foi no desenvolvimento da máquina flamejadora em escala comercial com a participação da Cia Ultragaz, Indústria e Comércio Mecmaq LTDA e Universidade Federal do Recôncavo da Bahia-UFRB.

Tipo de máquinas empregadas no flamejamento

Os tipos de flamejadores disponíveis no mercado são bem diversificados. Existem modelos manuais como os portáteis, costais e de

propulsão humana sobre rodas e tratorizados com aplicação de chama direta (Figura 3). Estes últimos são, por padrão, compostos por um tanque de combustível, válvulas de controle, linhas de alimentação e chassi, providos de suportes tubulares com sapatas deslizantes e barra porta ferramentas onde são afixados os queimadores.

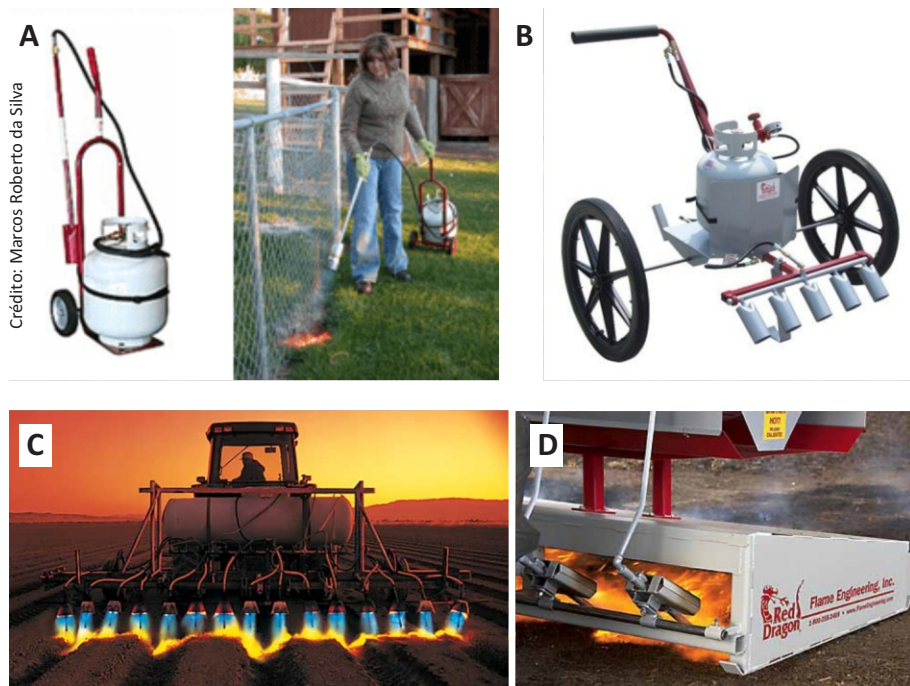


Figura 3. Modelos de flamejadores: (A) Manual com queimador de chama direta; (B) Propulsão humana sobre rodas com queimadores de chama direta; (C) Tratorizado com queimadores de chama direta, sem cobertura; e (D) Tratorizado com queimadores de chama direta, com cobertura.

Os queimadores podem ser regulados vertical ou horizontalmente, em ângulos que variam de 30° a 45°, bem como em sua altura relativa ao solo, o que permite um melhor direcionamento da chama sobre as plantas daninhas. Estas variações permitem controle seletivo das plantas que podem estar localizadas nas entrelinhas das culturas ou na própria linha. É importante que se mantenha uma distância de segurança entre as chamas e as plantas cultivadas de, pelo menos, 5 cm, de forma a não as submeter a injúrias. É

fundamental que as plantas cultivadas apresentem maior porte e, conseqüentemente, resistência. Atualmente, os queimadores são achatados, com formato de um “sino” (Figura 4), e possuem um difusor de pulverizador de combustível do tipo leque. Estes são mais flexíveis na regulagem e as irregularidades do terreno não interferem significativamente na aplicação da chama.



Figura 4. (A) Primeiro equipamento de arrasto importado para uso no Brasil utilizando queimadores do tipo “sino”. (B) Detalhes do funcionamento do queimador do tipo “sino”.

A estrutura porta queimadores pode ser provida de uma cobertura isolante ou não. No caso da estrutura coberta, o calor gerado pela chama é preservado próximo ao solo no local do tratamento, aumentando a eficiência da aplicação, ou seja, há um aproveitamento melhor dos gases da combustão. Outra função desta cobertura é proteger as plantas cultivadas do calor produzido, principalmente em culturas perenes, em que o equipamento se desloca abaixo das copas das árvores.

O combustível destinado à produção da chama é o GÁS LP, composto por hidrocarbonetos leves, principalmente propano e butano, armazenados em estado líquido sob alta pressão no interior de recipientes cilíndricos. O tanque é munido de válvulas de controle e conexões de linhas de combustível. A fase líquida do combustível, presente no fundo do tanque, é extraída através de um pequeno orifício numa quantidade suficiente para manter a chama piloto dos queimadores acesa. Ao alcance do operador, há uma válvula de fechamento rápido para a realimentação com gás dos queimadores durante a operação.

Geralmente, o tanque é instalado na parte traseira do trator, em razão da quantidade de calor liberado pelos queimadores, evitando assim danos ao operador e ao trator. No entanto, não é raro encontrar o tanque instalado na parte dianteira.

Aplicação do controle térmico por flamejamento

O controle térmico de plantas daninhas pode ser feito de forma indireta, através da emissão de radiação infravermelha. A eletrocussão, a emissão de micro-ondas, radiação laser e a luz ultravioleta são outros métodos menos usuais (Rask & Kristoffersen, 2007). O flamejador por radiação infravermelha apresenta queimadores responsáveis por aquecer superfícies metálicas ou cerâmicas que, por sua vez, transmitem o calor em direção ao alvo por irradiação (cerca de 900 °C). Embora os queimadores infravermelhos não direcionem a energia térmica de forma direta para as plantas daninhas, seu padrão de distribuição é mais uniforme, sendo ideais para o controle de pré-emergência, aplicado em faixas.

A modalidade direta de controle térmico é realizada com o uso de flamejadores abertos ou pela combinação de chama e radiação infravermelha, utilizando flamejadores cobertos. Esses procedimentos podem ser executados antes ou depois da emergência das culturas (Ascard, 1995).

O flamejamento anterior à emergência das plantas cultivadas constitui a técnica mais utilizada de controle de plantas daninhas para as culturas de germinação lenta, plantadas em fileiras como cenoura, milho e cebola, tendo seu efeito limitado para as culturas de rápida emergência, uma vez que podem emergir antes das plantas daninhas (Melander & Rasmussen & Bàrberi, 2005). É fundamental que o tratamento térmico seja realizado o mais próximo possível do período de emergência da cultura, de forma a garantir emergência da cultura no limpo, sem as plantas daninhas (Bond & Turner & Grundy, 2003).

Antes do plantio, da semeadura, do transplântio e emergência da cultura, a depleção do banco de sementes pode ser realizada, integrando o controle mecânico com o térmico. É possível utilizar a técnica da falsa sementeira, que consiste no estímulo da germinação das sementes de plantas daninhas em solo previamente preparado, aplicando o flamejamento após a emergência. Esses passos são realizados antes do plantio da cultura de interesse (Fontanelli et al., 2015).

Em pós-emergência, Diver (2002) classifica as metodologias de flamejamento da seguinte maneira:

- Flamejamento transversal: quando os queimadores são dispostos de forma perpendicular à direção de deslocamento do trator com uma inclinação para baixo. Utilizam-se dois queimadores por fileira de plantas, de forma desencontrada, evitando assim o choque entre as chamas.
- Flamejamento paralelo: posicionam-se os queimadores de forma paralela e próxima às fileiras de plantas. É utilizado nos estádios iniciais de desenvolvimento, uma vez que as culturas ainda não estão aptas para suportar o flamejamento transversal.
- Flamejamento centralizado: também chamada de flamejamento na rua entre as linhas, a técnica consiste em instalar os queimadores de forma que a chama seja direcionada para o controle das plantas daninhas que crescem entre as linhas de plantas.

O equipamento utilizado no flamejamento pode ser empregado ainda para o dessecamento de partes vegetativas da batata e da cebola, de forma a auxiliar na colheita. É possível combater a incidência de *Botrytis cinerea* em morango através da destruição do seu inóculo pelo calor (Bond; Turner; Grundy, 2003). A técnica é eficaz também no controle de plantas daninhas que emergem em superfícies duras como as do meio urbano (Ascard, 1995).

Até o momento, existe ainda uma carência de pesquisas e testes com o emprego do flamejamento para uma série de parâmetros nas condições brasileiras, como o aquecimento do solo e seu efeito sobre a qualidade da matéria orgânica ou na germinação de plantas daninhas. Por causa da falta de relatos sobre testes em Sistema Plantio Direto com a palhada muito seca, faz-se necessário cuidados ao utilizar a técnica, evitando que ela seja incendiada (Marchi & Silva & Marchi, 2008).

Efeitos do flamejamento sobre as plantas daninhas

Diferentemente do uso do fogo para a queima dos restos culturais e para a limpeza de pastagens, o flamejamento é a exposição do vegetal à chama produzida pelo equipamento. Não ocorre a queima, mas a geração de um distúrbio fisiológico induzido por uma exposição ao calor em um curto espaço de tempo.

O solo é um isolador eficiente de calor, capaz de absorver valores

expressivos de energia térmica sem que isso implique grandes variações de temperatura. Por esta razão, assim como o fato de que o flamejamento é realizado numa fração de segundo sobre a mesma superfície, apenas os milímetros mais superficiais do solo são aquecidos de forma temporária (Ascard, 1995).

O flamejamento, realizado com o uso Gás LP, apresenta como vantagem sobre o controle químico a particularidade de não deixar resíduos no solo e na água (Favarato et al., 2016), além de não ser seletivo a nenhuma planta-alvo, sendo vantajoso para uso em áreas com plantas tolerantes ou resistentes aos herbicidas. A técnica possui também pontos positivos em relação às práticas de controle mecânico, visto que não revolve solo e, portanto, não o perturba, minimizando os efeitos erosivos, e não expõe sementes de plantas daninhas enterradas à superfície, fator que propicia a germinação, além de poder ser utilizada mesmo quando o solo se encontra muito úmido para o cultivo (Stepanovic, 2013).

O flamejamento induz à eliminação das plantas daninhas ao submetê-las a intensas ondas de calor em espaços de tempo pré-determinados. A literatura aponta faixas de temperatura letais aos vegetais de controle entre 55 e 94 °C, o que pode ser alcançado em 0,65 a 0,13 segundos de exposição. Os queimadores podem gerar até 1.900 °C de temperatura de combustão. As chamas produzidas pelos queimadores provocam um rápido aquecimento interno dos tecidos vegetais expostos, acarretando a desnaturação de proteínas da membrana celular e a perda de água. O calor induz ainda à inativação de enzimas bem como à coagulação do protoplasma. Como resultado, as células perdem as suas funções, levando a uma redução drástica da habilidade competitiva da planta, à inibição do seu processo fotossintético ou mesmo, eventualmente, à morte (Stepanovic, 2013).

A relação entre o tempo de exposição e o calor necessário para levar o alvo à morte influencia no consumo de combustível, pois as plantas que requerem maiores temperaturas para a sua eliminação necessitarão de uma velocidade de trabalho mais reduzida e maior consumo de GÁS LP. A faixa de velocidade de operação mais efetiva para o controle de plantas daninhas é descrita entre 1,0 a 4,0 km h⁻¹ (Burin & Fuentes, 2015).

As plantas daninhas podem ser agrupadas em quatro tipos em relação à sensibilidade que apresentam ao tratamento térmico, de acordo com Ascard (1995):

- Plantas muito sensíveis: apresentam folhas finas e são desprovidas de

proteção para seus pontos de crescimento.

- Plantas de fácil controle: embora apresentem algumas proteções nos seus pontos de crescimento, não representam grandes dificuldades para o tratamento térmico.
- Plantas tolerantes: em razão da sua alta capacidade de rebrota, as plantas consideradas tolerantes só podem ser efetivamente controladas nas fases iniciais de desenvolvimento.
- Plantas muito tolerantes: o hábito rasteiro destas espécies e o fato de seus pontos de crescimento serem muito bem protegidos as tornam muito pouco suscetíveis a sentirem os efeitos do flamejamento.

A eficácia do flamejamento pode ser constatada em campo ao pressionar uma folha com o dedo polegar e o indicador (teste de impressão digital). Caso seja verificada uma impressão escurecida sobre o limbo foliar, é provável que tenha ocorrido a perda de pressão interna em decorrência do extravasamento celular, consequência do rompimento das paredes celulares (Stepanovic, 2013).

Uma comparação do efeito do tratamento térmico com o controle mecânico de plantas daninhas na cultura da cebola foi realizada experimentalmente por Virbickaite et al. (2006). A supressão manual foi realizada três vezes durante o ciclo da cultura, ao passo que o tratamento térmico foi realizado duas vezes durante o mesmo período. Verificou-se que o flamejamento foi 22,5% mais eficaz que o mecânico para as espécies anuais, ao passo que o controle mecânico se provou 32% mais efetivo para a eliminação de plantas daninhas perenes. O tempo médio de exposição das plantas daninhas ao calor foi de 2,0 s.

Em trabalho semelhante realizado por Kerpauskas et al. (2009), verificou-se que o rendimento para o tratamento térmico durante 2,0 s de exposição foi cerca de 30% maior que no controle mecânico. Os autores atribuem esse ganho em produção à não perturbação do sistema radicular, sendo limitado, no entanto, pelo estresse causado por uma injúria térmica parcial no pescoço da cebola. O trabalho em questão apontou ainda uma faixa entre 2,15 s e 2,20 s de exposição ao calor para um rendimento ideal.

As desvantagens do flamejamento em comparação aos métodos convencionais de controle são: o alto custo do equipamento; elevado consumo de combustível; deficiência na seletividade de alvos durante a operação com vistas a garantir a segurança das plantas cultivadas; velocidade reduzida de aplicação; baixa capacidade operacional, uma vez que as larguras

de trabalho são menores; efeito apenas sobre a parte aérea do vegetal, permitindo a rebrota; e ausência de efeito residual de controle sobre as plantas daninhas que virão a emergir. O flamejamento pode ainda induzir ao aumento da germinação de determinadas espécies, fator compensado pela não perturbação do solo, o que possibilitaria a emergência de outras tantas (Bond & Turner & Grundy, 2003).

Os custos com a mão de obra destinada à remoção manual das plantas-daninhas constituem um peso no orçamento das grandes propriedades. Em comparação ao controle químico de plantas daninhas, o flamejamento requer maiores gastos com a supressão manual suplementar delas (Ascard, 1995).

O tempo necessário de exposição das plantas à chama para o seu controle é determinado de acordo com fatores como a morfologia e a arquitetura da espécie (portanto, é importante realizar o levantamento de espécies infestantes), assim como as condições climáticas (incidência de ventos e a umidade relativa do ar). No geral, vegetais de maior porte são mais tolerantes ao flamejamento, por causa principalmente da maior superfície das folhas e do caule, o que implica uma razão de aquecimento de biomassa. Fatores anatômicos como a presença de pelos, ceras ou lignificação também contribuem para uma maior tolerância. Esses obstáculos devem ser contornados com temperatura e tempo de exposição à chama mais elevados (Stepanovic, 2013).

As diferenças no que diz respeito à tolerância ao flamejamento por parte de espécies de folhas largas e de folhas estreitas foram verificadas por Silva (2008). Comparando as gramíneas capim braquiária e colonião com a corda-de-viola e o picão-preto, plantas de folha larga, constatou-se a maior eficiência do flamejamento sobre as plantas de folha larga. Essa diferença também é observada entre as plantas cultivadas, sendo as gramíneas como o milho ou o sorgo muito mais tolerantes ao flamejamento que a soja, por exemplo.

Considerações finais

O método do flamejamento é uma tecnologia consolidada internacionalmente e, mais recentemente, no Brasil. Os equipamentos flamejadores foram desenvolvidos para inúmeras aplicações, atendendo às especificações agronômicas das culturas, podendo ser utilizados na dessecação em área total e nas entrelinhas das culturas anuais e perenes.

Podem ser utilizados em outras aplicações não agrícolas, como no controle de plantas daninhas em áreas urbanas.

No Brasil, desde 1999, o método vem sendo testado em diversas culturas com desempenho satisfatório, porém ainda não existe uma produção em escala dos flamejadores.

Nos trópicos, a alta produção de fitomassa de plantas daninhas talvez seja o maior limitante ao uso dos flamejadores por causa do risco de incêndio, porém os fabricantes têm buscado desenvolver mecanismos que venham a minimizar o problema.

O controle tem maior eficiência nas fases iniciais de desenvolvimento das espécies daninhas com o menor consumo de combustível. Vale ressaltar que as plantas daninhas que possuem resistência às moléculas de herbicida são totalmente controladas pelo flamejamento.

O flamejamento é considerado uma tecnologia limpa, tendo a sua aplicação amparada na legislação e nos órgãos reguladores de produção orgânica.

Referências

ASCARD, J. **Thermal weed control by flaming**: biological and technical aspects. 1995. 37 f. Dissertação (Mestrado) - Department of Agricultural Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp, 1995.

BAKER, B.; BROWN-ROSEN, E. Crop protection product formulation for the organic market. In: FELSOT, A. S.; RACKE, K. D. (Ed.). **Crop protection products for organic agriculture**: environmental, health, and efficacy assessment. Oxford: Oxford University Press, 2007. p. 19-33.

BOND, W.; TURNER, R. J.; GRUNDY, A. C. **A review of non-chemical weed management**. 2003. Disponível em: <https://www.gardenorganic.org.uk/sites/www.gardenorganic.org.uk/files/updated_review_0.pdf>. Acesso em: 28 out. 2016.

BURIN, P. C.; FUENTES, L. F. G. Uso do fogo como alternativa no controle de plantas daninhas. **Revista Electrónica de Veterinaria**, v. 16, n. 8, p. 1-13, 2015. Disponível em: <<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n080815/081507.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

DIVER, S. **Flame weeding for vegetable crops**. 2002. Disponível em: <<https://attra.ncat.org/attra-pub/download.php?id=110>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

FAVARATO, L. F.; SOUZA, J. L.; GUARÇONI, R. C.; BAHIANSE, D. V. Flamethrower application time in weed control. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 327-332, 2016.

FONTANELLI, M.; FRASCONI, C.; MARTELLONI, L.; PIRCHIO, M.; RAFFAELLI, M.; PERUZZI, A. Innovative strategies and machines for physical weed control in organic and integrated vegetable crops. **Chemical Engineering Transactions**, v. 44, p. 211-216, 2015.

KERPAUSKAS, P.; SIRVYDAS, A. P.; VASINAUSKIENĖ, R.; TAMOŠIUNAS, A. Influence of thermal effect duration on onion yield. **Agronomy Research**, v. 7, p. 323-327, 2009. Número especial.

MARCHI, G.; SILVA, M. R.; MARCHI, E. C. S. **Uso de lança-chamas e radiação infravermelha no controle de plantas daninhas**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. (Documentos, 225).

MELANDER, B.; RASMUSSEN, I. A.; BÀRBERI, P. Integrating physical and cultural methods of weed control: examples from European research. **Weed Science**, Champaign, v. 53, p. 369-381, 2005.

RASK, A. M.; KRISTOFFERSEN, P. A review of non-chemical weed control on hard surfaces. **Weed Research**, Champaign, v. 47, p. 370-380, 2007.

SILVA, M. R.; DANIEL, L. A. Controle térmico de plantas-daninhas na cultura do citros: ensaio preliminar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006, v. 1, p. 21-24.

SILVA, M. R.; DANIEL, L. A.; PEREIRA, W. F.; TOMAZELA, M. Método físico para dessecação das ramas de batata. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito. **Anais...** Bonito: SBEA, 2007. 1 CD-ROM.

SILVA, M. R. **Eficiência de flamejadores no controle de plantas daninhas**. 2008. 127 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

STEPANOVIC, S. V. **Positioning of an innovative flame-weeding technology into crop production**. 2013. 168 f. Dissertação (Mestrado) - University of Nebraska-Lincoln, Nebraska, Lincoln, 2013.

VIRBICKAITĖ, R.; SIRVYDAS, A. P.; KERPAUSKAS, P.; VASINAUSKIENE, R. The comparison of thermal and mechanical systems of weed control. **Agronomy Research**, v. 4, p. 451-455, 2006. Número especial.

Acervo fotográfico do desenvolvimento e aplicações do flamejamento no Brasil

Crédito: Marcos Roberto da Silva



Crédito: Marcos Roberto da Silva



Primeiro equipamento importado dos Estados Unidos, da Red Dragon, pela Cia Ultragaz, para o controle de plantas daninhas nas entrelinhas das culturas anuais. (A) Primeiros testes realizados no Brasil com flamejador na cultura do milho – São Carlos-SP; (B) Flamejador adaptado para aplicação em área total em canteiros no cultivo de hortaliças – Brasilândia-MG.

Crédito: Marcos Roberto da Silva



Controle de plantas daninhas na cultura da soja – Sengés-PR. (A) Vista da área antes da aplicação do calor; (B) Flamejador com os queimadores direcionados para as entrelinhas da soja; (C) e (D) Vista da área após aplicação do calor.

Crédito: Marcos Roberto da Silva



Crédito: Marcos Roberto da Silva



Controle de plantas-daninhas em área de pastagem e parasitas dos ovinos – Nova Odessa-SP. (A) Aplicação do calor em área total e a pulverização de água para minimizar os riscos de incêndio

em razão da quantidade de fitomassa; (B) Detalhes do flamejador com queimadores semicobertos.

Crédito: Marcos Roberto da Silva



A

Crédito: Marcos Roberto da Silva



B

Crédito: Marcos Roberto da Silva



C

Crédito: Marcos Roberto da Silva



D

Flamejador totalmente coberto para aplicação nas entrelinhas das culturas perenes, desenvolvido em parceria entre a Cia Ultragaz, MecMAq e Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – Cruz das Almas-BA. (A) Vista em detalhe do flamejador coberto – reservatórios de Gás LP, água e estrutura coberta com queimadores; (B) Área de citros antes da aplicação do calor; (C) Flamejador em funcionamento aplicando calor sobre as espécies daninhas; (D) Vista geral da área uma semana após aplicação do calor.

Crédito: Marcos Roberto da Silva



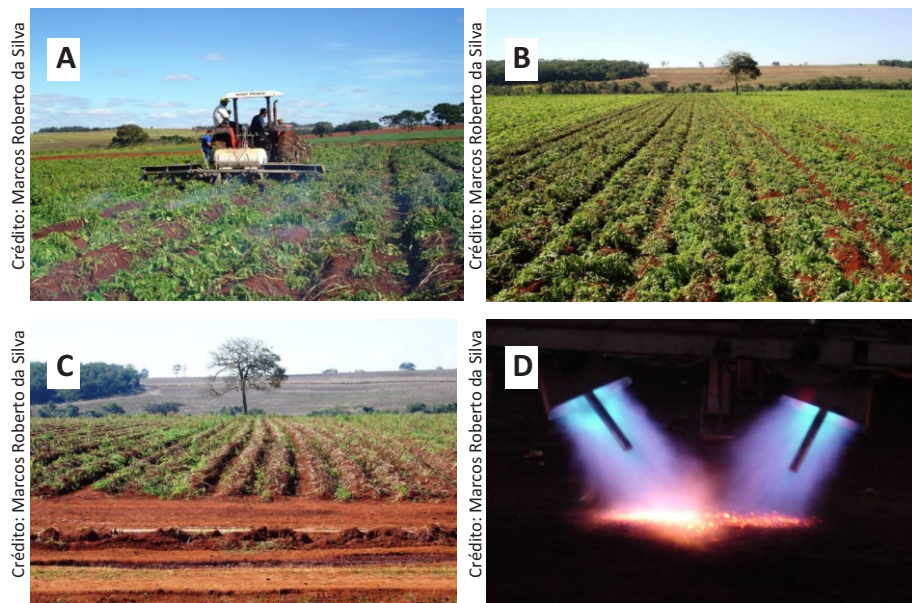
E

Crédito: Marcos Roberto da Silva

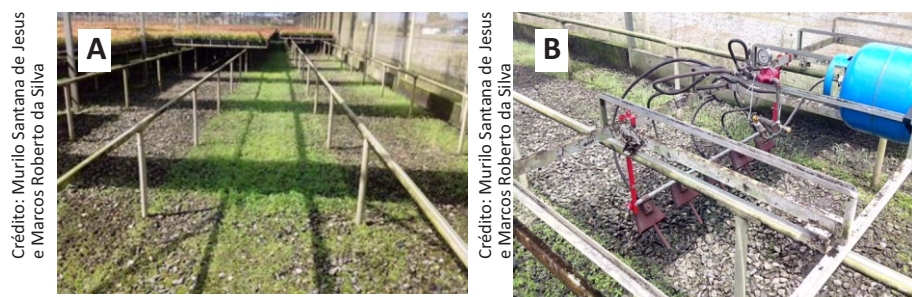


F

Flamejador aberto para controle de plantas-daninhas na cultura da videira – Petrolina-PE.



Dessecação de ramas da cultura da batata antes da colheita – Itapetininga-SP. (A) Flamejador semicoberto aplicando calor sobre as ramas da batata; (B) Resultado do tratamento 30 minutos após aplicação; (C) Resultado do tratamento 7 dias após aplicação; (D) Detalhe do direcionamento dos queimadores sobre o camalhão na linha de plantio de batata.



Flamejamento em áreas de viveiros de produção de mudas de eucalipto com plantas daninhas resistentes aos herbicidas – Eunápolis-BA (A) Piso do viveiro infestado por plantas daninhas; (B) Área central totalmente controlada após a aplicação do calor em contraste com as faixas laterais com plantas verdes onde não houve aplicação.

Crédito: Cesar Hideo Nagumo



Crédito: Cesar Hideo Nagumo



Lançamento na Agrishow 2015 do flamejador desenvolvido em parceria entre a Cia Ultragaz, MecMAq e Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Equipamento com queimadores cobertos tanto para aplicação nas entrelinhas das culturas anuais como em área total – Ribeirão Preto-SP.



Milho e Sorgo

Apoio



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



CGPE 14973