

132

Circular
TécnicaLondrina, PR
Agosto, 2017**Autores****Fernando Storniolo Adegas**Eng. Agrônomo, Dr.
Pesquisador,
Embrapa Soja,
Londrina, PR**Leandro Vargas**Eng. Agrônomo, Dr.
Pesquisador,
Embrapa Trigo,
Passo Fundo, RS**Dionísio Luiz Pisa Gazziero**Eng. Agrônomo, Dr.
Pesquisador,
Embrapa Soja,
Londrina, PR**Décio Karam**Eng. Agrônomo, Dr.
Pesquisador,
Embrapa Milho e Sorgo,
Sete Lagoas, MG

Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil

Introdução

A resistência é definida como a habilidade herdada de uma planta daninha em sobreviver e reproduzir-se após a exposição a uma dose de herbicida normalmente letal (dose de bula) para a população natural. É de ocorrência natural, devido as plantas daninhas evoluírem e se adaptarem às mudanças do ambiente e ao uso das tecnologias agrícolas. Na prática, o surgimento da resistência ocorre pelo processo de seleção de biótipos resistentes, já existentes na população presente nas áreas de produção, em função de aplicações repetidas e continuadas de um mesmo herbicida ou de herbicidas com mesmo mecanismo de ação, durante determinado período de tempo.

Os primeiros relatos de resistência no mundo ocorreram em 1957, ambos relativos ao herbicida 2,4-D, sendo identificadas como resistentes uma população de *Daucus carota*, na província de Ontário, no Canadá (SWITZER, 1957) e uma população de *Commelina difusa*, no Estado do Havaí, nos Estados Unidos da América (HILTON, 1957). Atualmente já foram relatados 480 casos específicos de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas, sendo 251 espécies e a 163 ingredientes ativos, abrangendo 91 culturas distribuídas em 69 países (HEAP, 2017).

Os herbicidas não são os únicos agrotóxicos alvos de resistência, o mesmo tem ocorrido com os fungicidas e os inseticidas, o que gera uma série de consequências maléficas à agricultura mundial, destacando-se o impacto econômico nos sistemas produtivos, que normalmente está relacionado ao uso de produtos alternativos e às perdas de produtividade, que somente nos Estados Unidos da América são estimadas em US\$ 1,5 bilhões por ano (PIMENTEL; BURGESS, 2014).

Uma das principais consequências da resistência de plantas daninhas a herbicidas é o aumento dos custos de controle, que normalmente não é abordado nas publicações científicas sobre o tema, mas é de grande importância para o setor produtivo. Por essa razão, o principal objetivo desse trabalho é abordar as questões relacionadas ao impacto econômico provocado pela resistência de plantas daninhas no principal sistema de produção agrícola do Brasil, o da produção de soja.

Resistência no Brasil

Os primeiros casos de resistência a herbicidas no Brasil foram relatados em 1993, relativos às espécies *Bidens pilosa* (picão-preto) e *Euphorbia heterophylla* (leiteiro), resistentes a herbicidas inibidores da enzima acetolactato-sintase - ALS (AGOSTINETTO; VARGAS, 2014). Atualmente o número de relatos perfaz 44 casos, abrangendo 22 espécies e oito mecanismos de ação (Tabela 1).

Tabela 1. Histórico dos relatos da ocorrência de plantas daninhas resistentes a herbicidas no Brasil, segundo critérios da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (adaptado de Heap, 2017).

Ano	Nome científico	Nome comum	Mecanismo de ação ¹
1993	<i>Bidens pilosa</i>	Picão-preto	Inibidor da ALS
1993	<i>Euphorbia heterophylla</i>	Leiteiro	Inibidor da ALS
1996	<i>Bidens subalternans</i>	Picão-preto	Inibidor da ALS
1997	<i>Uroclao plantaginea</i>	Papuã	Inibidor da ACCase
1999	<i>Sagittaria montevidensis</i>	Sagitária	Inibidor da ALS
1999	<i>Echinochloa crus-galli</i>	Capim-arroz	Mimetizador da auxina
1999	<i>Echinochloa crus-galli</i>	Capim-arroz	Mimetizador da auxina
2000	<i>Cyperus difformis</i>	Junquinho	Inibidor da ALS
2001	<i>Fimbristylis miliacea</i>	Cuminho	Inibidor da ALS
2001	<i>Raphanus sativus</i>	Nabo	Inibidor da ALS
2002	<i>Digitaria ciliaris</i>	Milhã	Inibidor da ACCase
2003	<i>Lolium multiflorum</i>	Azevém	Inibidor da EPSPs
2003	<i>Eleusine indica</i>	Capim-pé-de-galinha	Inibidor da ACCase
2004	<i>Euphorbia heterophylla</i>	Leiteiro	Inibidor da ALS + Prottox
2004	<i>Parthenium hysterophorus</i>	Losna-branca	Inibidor da ALS
2005	<i>Conyza bonariensis</i>	Buva	Inibidor da EPSPs
2005	<i>Conyza canadensis</i>	Buva	Inibidor da EPSPs
2006	<i>Oryza sativa</i>	Arroz-vermelho	Inibidor da ALS
2006	<i>Bidens subalternans</i>	Picão-preto	Inibidor da ALS + PSII
2008	<i>Digitaria insularis</i>	Capim-amargoso	Inibidor da EPSPs
2009	<i>Echinochloa crus-galli</i>	Capim-arroz	Inibidor ALS + mimetizador auxina
2009	<i>Sagittaria montevidensis</i>	Sagitária	Inibidor da ALS + PSII
2010	<i>Lolium multiflorum</i>	Azevém	Inibidor da ALS
2010	<i>Lolium multiflorum</i>	Azevém	Inibidor da ACCase + EPSPs
2010	<i>Conyza sumatrensis</i>	Buva	Inibidor da EPSPs
2010	<i>Avena fatua</i>	Aveia-selvagem	Inibidor da ACCase
2011	<i>Conyza sumatrensis</i>	Buva	Inibidor da ALS
2011	<i>Conyza sumatrensis</i>	Buva	Inibidor da ALS + EPSPs
2011	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Caruru-gigante	Inibidor da ALS + PSII
2011	<i>Amaranthus viridis</i>	Caruru-de-mancha	Inibidor da ALS + PSII
2012	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Caruru-gigante	Inibidor da ALS
2013	<i>Raphanus raphanistrum</i>	Nabiça	Inibidor da ALS
2013	<i>Ageratum conyzoides</i>	Mentrasto	Inibidor da ALS
2014	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Caruru-gigante	Inibidor Prottox
2015	<i>Cyperus iria</i>	Tiririca-do-brejo	Inibidor da ALS
2015	<i>Amaranthus palmeri</i>	Caruru palmeri	Inibidor da EPSPs
2015	<i>Echinochloa crus-galli</i>	Capim-arroz	Inibidor ACCase + ALS + PSII
2016	<i>Eleusine indica</i>	Capim pé-de-galinha	Inibidor da EPSPs
2016	<i>Amaranthus palmeri</i>	Caruru palmeri	Inibidor da EPSPs + ALS
2016	<i>Digitaria insularis</i>	Capim-amargoso	Inibidor da ACCase
2016	<i>Bidens pilosa</i>	Picão-preto	Inibidor da ALS + PSII
2016	<i>Lolium multiflorum</i>	Azevém	Inibidor da ACCase + ALS
2017	<i>Lolium multiflorum</i>	Azevém	Inibidor da EPSPs + ALS
2017	<i>Conyza sumatrensis</i>	Buva	Inibidor do PSI

¹ ALS - inibidor da enzima acetolactato sintase; ACCase - inibidor da enzima acetil coenzima-A carboxilase; EPSPs - inibidor da enzima 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato; Prottox - inibidor da enzima protoporfirinogênio oxidase; PSII - inibidor do fotossistema II; PSI - inibidor do fotossistema I.

Alexandre Ferreira da Silva
Eng. Agrônomo, Dr.
Pesquisador,
Embrapa Milho e Sorgo,
Sete Lagoas, MG

Dirceu Agostinetto
Eng. Agrônomo, Dr.
Professor Adjunto,
Univ. Federal de Pelotas,
Pelotas, RS

Nos sistemas de produção de grãos do Brasil, especialmente no da cultura da soja, o impacto da resistência de plantas daninhas a herbicidas pode ser dividido em duas fases. A primeira fase refere-se ao período de 1993 até meados dos anos 2000, caracterizada pela ampla e massiva utilização dos herbicidas inibidores da ALS. Esses herbicidas possuem, como características positivas, elevada eficiência no controle de plantas daninhas dicotiledôneas, especialmente *Bidens pilosa* e *Euphorbia heterophylla*. Por outro lado, os inibidores da ALS, possuem, como característica negativa, alta probabilidade de seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes. A alta probabilidade de seleção de resistência ocorre em função da frequência de mutação na enzima ALS ser naturalmente alta em populações de plantas daninhas. Assim, o uso repetido de herbicidas inibidores da ALS associado à alta frequência de biótipos com enzima ALS mutada resultou na seleção de biótipos de leiteiro e de picão-preto resistentes aos herbicidas deste mecanismo de ação. Os primeiros casos foram observados no Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul, com rápida disseminação para as demais regiões produtoras de grãos do país.

Neste mesmo período, os herbicidas inibidores da ACCase, também foram amplamente utilizados para o controle de espécies monocotiledôneas, o que também resultou na seleção de biótipos resistentes em diversas regiões do país. Desta forma, os problemas se agravaram e as lavouras de soja, especialmente do Sul do Brasil, apresentavam alta infestação de biótipos de leiteiro e picão-preto resistentes aos inibidores da ALS, além de milho e papuã resistente aos inibidores da enzima ACCase.

Apesar de produtos com mecanismo de ação na ALS e ACCase apresentarem o maior número de casos de resistência, também foram registrados problemas com outros grupos de produtos, como PSII, Protox e Mimetizadores da auxina.

Nesta época, o custo médio (atualizado para julho de 2017) de controle nas áreas sem problema de resistência era de R\$ 62,57, variando entre R\$ 46,53 e R\$ 78,60, dependendo dos herbicidas e das doses utilizadas (Tabela 2). Nas áreas com problemas de resistência, houve a necessidade de se utilizar herbicidas com mecanismos alternativos aos inibidores da ALS e ACCase, além de outras práticas de controle, como as capinas de repasse para

corrigir falhas de controle, o que elevou o custo médio do controle para R\$ 285,98 ha⁻¹ (Tabela 2), significando incremento médio de 357%. Quando se considera a pior situação de controle da época, o custo por ha chegou a R\$ 343,37, representando adicional de 638% em relação ao menor custo, para controle das populações não resistentes (Tabela 2).

A problemática da resistência de plantas daninhas aos inibidores da ALS e ACCase também ocorreu em outras importantes regiões produtoras de grãos, como na Europa e Austrália, onde o custo de controle de espécies como *Lolium rigidum* e *Alopecurus myosuroides*, resistentes a herbicidas destes mecanismos de ação, chegou a ser mais do que o dobro em comparação com áreas sem resistência (PANNELL et al., 2016).

A situação brasileira de resistência de plantas daninhas a herbicidas na cultura da soja convencional, em meados dos anos 2000, era considerada pelos produtores como insustentável, devido às dificuldades de controle, ao alto custo e baixa eficiência dos mecanismos de ação dos herbicidas disponíveis para controle das espécies resistentes. A solução para este problema ocorreu com a introdução da soja transgênica, resistente ao herbicida glifosato, conhecida como soja Roundup Ready® (soja RR). A tecnologia RR, oportunizou a utilização do glifosato em pós-emergência da soja, com controle eficiente das espécies resistentes aos inibidores da ALS e ACCase.

Além da eficiência de controle do glifosato proporcionado pela utilização da soja RR, os custos de controle das plantas daninhas com resistência diminuíram drasticamente, ficando em média R\$ 92,03 ha⁻¹, representando redução de 68% em relação ao controle utilizado anteriormente pelos agricultores (Tabela 2). Estes números e a facilidade do uso do glifosato em pós-emergência da soja RR, explicam o motivo da aceitação e adoção imediata pelos produtores desta tecnologia.

Vale ressaltar, que o cultivo da soja RR foi aprovado no Brasil em 2005, sendo a tecnologia oficialmente liberada para uso na safra 2005/06. Contudo, sua história no país envolve introdução ilegal, inicialmente no Rio Grande do Sul, entre os anos 2000 e 2005. Nesses cinco anos, a soja RR foi cultivada sem acompanhamento técnico e definição de práti-

Tabela 2. Estimativa do custo do controle de plantas daninhas, atualizado para julho de 2017, em áreas de soja sem e com problemas de resistência aos inibidores da ALS e ACCase, e em áreas de soja transgênica resistente ao herbicida glifosato (soja RR).

SITUAÇÃO (período/anos)	MÍNIMO (R\$ ha ⁻¹)	MÁXIMO (R\$ ha ⁻¹)	MÉDIA (R\$ ha ⁻¹)
SEM RESISTÊNCIA (1993 – 2001) ¹	46,53	78,60	62,57
COM RESISTÊNCIA (1996 – 2005) ²	228,59	343,37	285,98
SOJA RR (2005 – 2007) ³	82,89	101,16	92,03

¹ Sistema de controle: dessecação de pré-semeadura com glifosato ou paraquate, quando em plantio direto; e, na cultura, herbicidas inibidores da ALS, da ACCase ou inibidores da formação dos microtúbulos (plantio convencional), sendo o intervalo de custo relativo ao número de aplicações, herbicida comercial utilizado e as doses aplicadas, em função da densidade e distribuição da infestação;

² Sistema de controle: dessecação de pré-semeadura, única ou sequencial, com glifosato, 2,4-D ou paraquate; e, na cultura, herbicidas inibidores da ALS, da ACCase, da Protox, sendo o intervalo de custo relativo ao número de aplicações, do herbicida comercial utilizado e as doses aplicadas, em função da densidade e distribuição da infestação, além da necessidade de capinas de repasse;

³ Sistema de controle: dessecação de pré-semeadura com glifosato; e, na cultura, apenas aplicação de glifosato, sendo o intervalo de custo relativo ao número de aplicações e as doses, em função da densidade e distribuição da infestação.

cas de manejo adequadas para essa nova tecnologia. Nesse período, o controle de plantas daninhas, na cultura da soja, passou a ser executado quase que exclusivamente com glifosato. Neste contexto, repetiu-se com o glifosato os mesmos erros, uso continuado e repetido, cometidos anteriormente com os inibidores da ALS e da ACCase.

O uso intensivo do glifosato, herbicida inibidor da EPSPs, acarretou grande pressão de seleção sobre as plantas daninhas, resultando na seleção de sete espécies daninhas resistentes (Tabela 1): o azevém (*Lolium multiflorum*), a buva (*Conyza bonariensis*, *C. canadensis*, *C. sumatrensis*), o capim-amargoso (*Digitaria insularis*), o caruru-palmeri (*Amaranthus palmeri*) e o capim pé-de-galinha (*Eleusine indica*).

A resistência ao glifosato ou aos inibidores da EPSPs é considerada a segunda fase de resistência de plantas daninhas no Brasil, sendo as três primeiras plantas daninhas citadas, as mais dispersas pelo território nacional, razão pela qual são abordadas neste trabalho.

A seleção de azevém resistente ao glifosato, cujo primeiro caso foi relatado em 2003 (VARGAS et al., 2004), criou a necessidade do uso de outro mecanismo de ação para controle dessa espécie. Os herbicidas inibidores da ACCase tornaram-se então a principal opção para manejo desta infestante antes da semeadura das culturas de soja e milho e na

pós-emergência da soja. Paralelamente, na cultura do milho e do trigo os herbicidas inibidores da ALS apresentavam-se como solução para controle seletivo do azevém. Novamente, como resposta ao uso repetido e continuado de herbicidas com mesmo mecanismo de ação, foram selecionados biótipos de azevém resistentes aos inibidores da ALS, em 2010; e, da ACCase, em 2011. Esses casos representaram os primeiros relatos de resistência múltipla ao glifosato no Brasil, de EPSPs + ALS e de EPSPs + ACCase.

A partir da seleção de populações de buva resistente ao glifosato, inicialmente em 2005, os agricultores concentraram o controle das diferentes espécies de *Conyza* com os herbicidas inibidores da ALS, especialmente clorimuron, resultando na seleção, em 2011, de biótipos de buva com resistência múltipla a EPSPs + ALS, situação que tem se agravado nos últimos anos. Na safra 2016/17, foi comprovado a resistência de biótipo de buva (*C. sumatrensis*) resistente ao paraquate, herbicida que também vem sendo muito utilizado no controle da buva resistente ao glifosato, especialmente em aplicação sequencial a herbicidas sistêmicos. O mesmo biótipo foi relatado em seguida como resistente a EPSPs + ALS + PSI, constituindo no caso mais complexo de resistência existente no Brasil, restando para controle dessa espécie poucas opções de herbicidas.

O primeiro caso de capim-amargoso resistente ao glifosato foi identificado no Estado do Paraná, na safra 2007/08 (ADEGAS; GAZZIERO, 2014). A partir desse relato inicial, outros casos de resistência desta espécie já foram comprovados em diversas regiões no Brasil. Como alternativa ao glifosato, o controle químico do capim-amargoso tem sido realizado tanto em pré, quanto em pós-emergência. Dentre os pré-emergentes, os mecanismos de ação que controlam com eficiência esta planta daninha são os inibidores da divisão celular, os inibidores do PSII, os inibidores da síntese de carotenoides, os inibidores da ALS e os inibidores da Prottox. No controle em pós-emergência, os principais herbicidas alternativos ao glifosato pertencem ao grupo dos inibidores da ACCase, dos inibidores da glutamina sintetase (GS) e dos inibidores do PSI.

Custo do controle de plantas daninhas resistentes no Brasil

Conforme já comentado, os principais custos da resistência relacionam-se com a necessidade do uso de herbicidas alternativos e as perdas de produtividade devido à competição das plantas daninhas resistentes remanescentes na lavoura. O custo com herbicidas alternativos é variável de acordo com a opção adotada pelo produtor, uma vez que, na maioria das vezes, há mais de uma alternativa de produto para uso no manejo das populações resistentes.

Para a estimativa do custo de controle das populações resistentes de azevém, buva e capim-amargoso resistentes ao glifosato, foram utilizados as principais alternativas de manejo químico registradas para uso no Brasil (Tabela 3), sendo a escolha dos ingredientes ativos, dos produtos comerciais, das doses e do número de aplicações, dependente da densidade da infestação, do desenvolvimento das plantas, da existência ou não de população mista, além da distribuição da população na área de cultivo. Em julho de 2017 foi realizado levantamento de preços dos herbicidas, na região Sul e Centro-Oeste do país, sendo utilizado o preço médio dos produtos como base do cálculo desses custos de controle.

Os resultados do custo das opções de controle químico de azevém, de buva e do capim-amargoso resistentes ao glifosato estão apresentados na Tabela 4. Como padrão, em um cenário de ausência de resistência, o custo médio de controle pode ser restrito a uma aplicação de glifosato na dessecação e duas aplicações na pós-emergência, resultando em custo atualizado total de R\$ 120,00 ha⁻¹.

Em um cenário de infestação de azevém resistente ao glifosato, existe a necessidade do uso de um herbicida graminicida alternativo associado ao glifosato para controle da infestante, com isso o custo ha⁻¹ fica no intervalo entre R\$ 118,60 a R\$ 236,70, o que representa um aumento médio de gasto com herbicidas de R\$ 57,65 ha⁻¹ (Tabela 4).

Outro cenário prático, para o Sul do Brasil, é a ocorrência de buva e azevém com resistência múltipla na mesma área. Nesse caso as opções restringem-se apenas à dessecação com o herbicida 2,4-D para controle da buva e paraquate para o controle do azevém. Já para aplicação seletiva na cultura, os herbicidas flumioxazin e trifluralina são as principais opções. O custo total do controle, nesta situação, pode variar entre R\$ 141,90 a R\$ 253,20, com média de R\$ 197,55 ha⁻¹ (Tabela 4).

Em áreas infestadas com capim-amargoso resistente ao glifosato, a alternativa de controle passa a ser o uso de graminicidas específicos, principalmente os inibidores da ACCase, tanto em dessecação como em pós-emergência da cultura, podendo ser intercalados na dessecação, com herbicidas de contato, como o paraquate e o amônio-glufosinato. De maneira geral, tem-se realizado entre 2 a 4 aplicações de graminicidas, o que aumenta o custo médio de controle em R\$ 198,35 ha⁻¹ (Tabela 4).

No cenário de infestação conjunta de capim-amargoso e buva resistentes ao glifosato, que tem ocorrido em várias regiões do Paraná e do Cerrado, o custo de controle pode chegar a R\$ 479,50 ha⁻¹, portanto, um acréscimo de até R\$ 359,50 ha⁻¹ quando comparado à área sem a presença destas espécies resistentes, sendo que na presença dessas espécies o custo médio de controle é de R\$ 386,65 ha⁻¹ (Tabela 4).

Tabela 3. Mecanismos de ação alternativos, com os respectivos ingredientes ativos dos herbicidas utilizados para fins da estimativa de controle de azevém, buva e capim-amargo, resistentes ao glifosato.

Planta Daninha	Mecanismo de Ação ¹	Ingrediente Ativo
Azevém	ACCase	Cletodim, Clodinafop, Haloxyfop, Quizalofop
	AGCL	Pyroxasulfone
	ALS	Iodosulfuron, Pyroxsulam
	GS	Amonio glufosinato
	PSI	Paraquate
Buva	ALS	Clorimuron, Cloransulam, Diclosulam, Iodosulfuron
	Mim. Auxina	2,4-D, Dicamba
	GS	Amonio glufosinato
	Prottox	Flumioxazin, Saflufenacil, Sulfentrazone
	PSI	Paraquate
Capim-amargoso	ACCase	Cletodim, Fenoxaprop, Haloxyfop, Quizalofop, Setoxidim
	ALS	Diclosulam, Imazetapir
	ANPr	S-metolaclo
	GS	Amonio glufosinato
	PTb	Trifluralin
	Prottox	Flumioxazin
	PSI	Paraquate

¹ACCase – inibidor da enzima acetil coenzima-A carboxilase; AGCL – inibidor da síntese de ácidos graxos de cadeia longa; ALS - inibidor da enzima acetolactato sintase; ANPr – inibidor da síntese de ácidos nucleicos e proteínas; GS – inibidor da glutamina sintetase; Mim. Auxina – mimetizador da auxina; Prottox – inibidor da enzima protoporfirinogênio oxidase; PTb - inibidor da síntese da tubulina; PSI – inibidor do fotossistema I.

Tabela 4. Estimativa do custo do controle na cultura da soja, atualizado para julho de 2017, de populações isoladas ou mistas de azevém, buva e capim-amargoso, com resistência isolada ao glifosato e múltipla também para os inibidores da ALS e ACCase.

SITUAÇÃO DA RESISTÊNCIA A EPSPs	MÍNIMO ¹ (R\$ ha ⁻¹)	MÁXIMO ¹ (R\$ ha ⁻¹)	MÉDIO ¹ (R\$ ha ⁻¹)
SEM RESISTÊNCIA	95,40	144,60	120,00
AZEVÉM	118,60	236,70	177,65
BUVA	126,20	214,80	170,50
CAPIM-AMARGOSO	264,40	372,30	318,35
AZEVÉM + BUVA	141,90	253,20	197,55
BUVA + CAPIM AMARGOSO	293,80	479,50	386,65

¹ Sistema de controle incluindo a dessecação de pré-semeadura e a aplicação de herbicidas em pré ou pós emergência da cultura da soja. Os valores mínimos, máximos e médios foram obtidos de acordo com os herbicidas utilizados, constantes na Tabela 3, e do número de aplicações e doses utilizadas, além da necessidade de capinas de repasse, em função da densidade da infestação, do desenvolvimento das plantas, da existência ou não de população mista, além da distribuição da população na área de cultivo.

O país com o maior número de casos de plantas daninhas resistentes ao glifosato é os Estados Unidos da América. Segundo Livingston et al. (2015) o impacto econômico da resistência de plantas daninhas na agricultura americana aumentou os custos de controle, nas áreas com problemas de resistência ao glifosato, em US\$ 50,34 ha⁻¹ em média, para a cultura do milho, e em US\$ 29,84 ha⁻¹ para a cultura da soja.

Quando se realiza a análise da variação percentual do custo de controle (Figura 1), pode-se verificar o grande aumento dos custos em lavouras com a presença de plantas daninhas resistentes ao glifosato, variando, em média, entre 42% e 48%, para as infestações isoladas de buva e azevém, respectivamente, e até 165%, com a presença de capim-amargoso. Nas situações de maior dificuldade de controle, onde ocorrem os maiores gastos, o custo de controle para estas espécies

praticamente triplicou em relação ao custo mínimo, sendo de 125% maior para a buva, 148% para o azevém e de 290% para o capim-amargoso (Figura 1).

Conforme pode-se observar ainda na Figura 1, em situações de infestações mistas de espécies daninhas resistentes ao glifosato, o aumento nos custos de controle é ainda maior. Para situações de presença de azevém e buva o custo médio aumentou 65% em comparação com áreas sem resistência, sendo o maior incremento de 165%. A pior situação em relação aos custos de controle ocorre em situações de infestação mista de buva e capim-amargoso, com aumento médio de 222%, e em casos extremos (alta infestação e plantas bem desenvolvidas) podendo atingir o montante de 403% de aumento dos custos de controle.

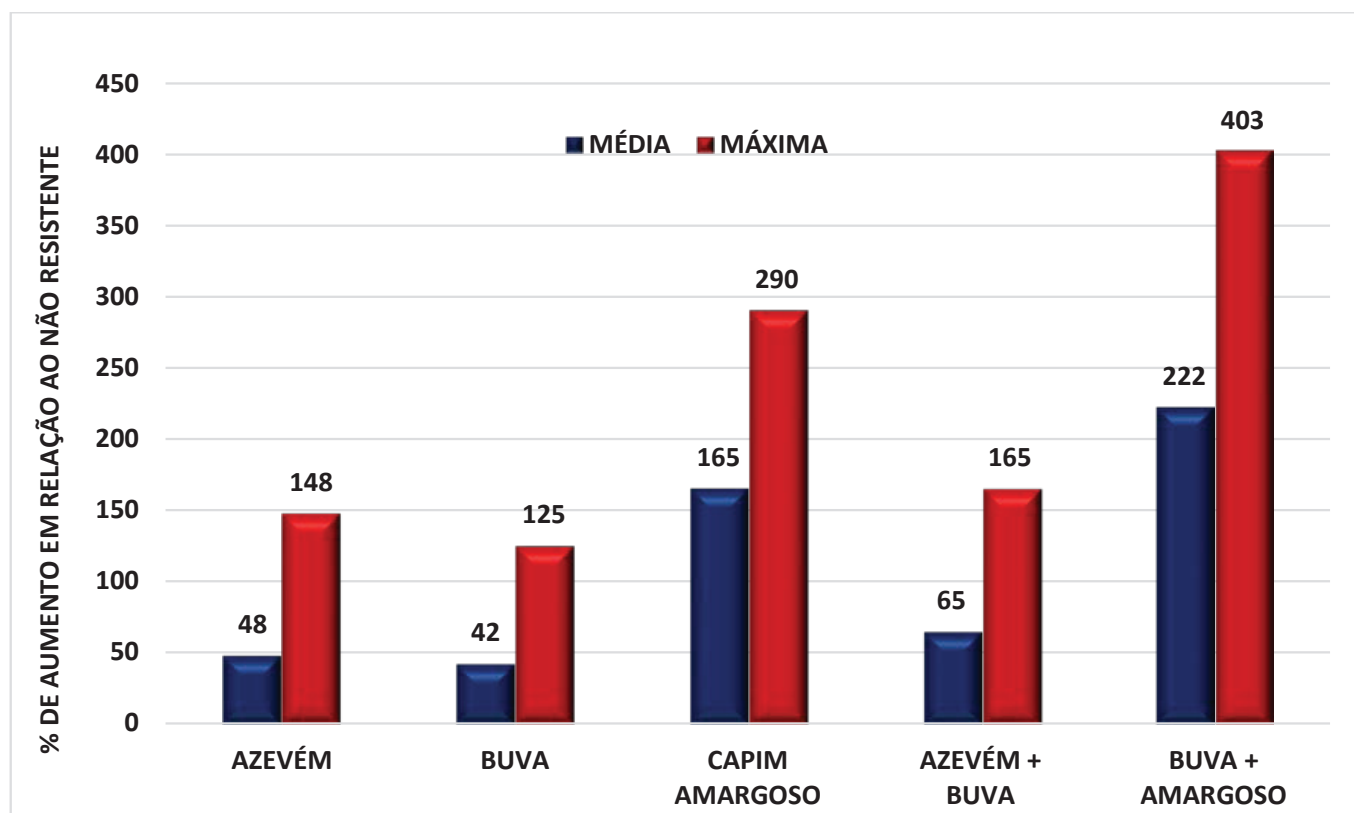


Figura 1. Estimativa do aumento percentual do custo do controle de plantas daninhas (R\$ ha⁻¹), em áreas de soja com presença de diferentes populações de plantas daninhas resistentes aos inibidores da EPSPs (glifosato), comparado a áreas sem resistência.

Matocompetição

As principais perdas causadas pela competição das plantas daninhas com as culturas são variáveis em função da(es) espécie(s) presente(s), do período de convivência com a cultura, da distribuição das plantas daninhas na área, da densidade das espécies infestantes, da habilidade competitiva relativa, do estágio de desenvolvimento e a disponibilidade de recursos. Em relação as três infestantes objetos deste estudo, os resultados evidenciam grande potencial de competição com as culturas comerciais.

O azevém é uma planta daninha historicamente presente nas culturas de inverno no Sul do Brasil, especialmente no trigo, podendo causar diminuição direta na produção do cereal entre 18% a 56% (FLECK, 1980) e quando associado a presença da adubação nitrogenada, a produtividade pode diminuir em até 62% (PAULA et al. 2011).

Em relação à buva, Gazziero et al. (2010) indicam que níveis de infestação de 16 e 18 plantas m^{-2} em lavouras de soja, podem causar perdas de produtividade da cultura de 1.174 e 1.469 $kg\ ha^{-1}$, respectivamente, podendo diminuir em até 48% a produtividade, quando comparado com a testemunha sem a presença de buva. Além de causar perdas de produtividade, as plantas daninhas podem servir de hospedeiras a pragas e doenças e provocar o aumento da umidade e da taxa de impurezas nos grãos colhidos, o que irá rebaixar a sua classificação comercial, refletindo em menor ganho econômico para o produtor.

O capim-amargoso pode interferir significativamente na produção da soja, com situações onde infestações entre 1 e 3 plantas m^{-2} e entre 4 e 8 plantas m^{-2} reduzem a produtividade da cultura em 23,5% e em 44,5%, respectivamente (GAZZIERO et al., 2012).

Baseado em experimentos de manejo e controle das populações resistentes, em avaliações em lavouras comerciais e em relatos de produtores, existem casos extremos onde a buva e o capim-amargoso podem reduzir a produtividade da soja em mais de 75%, enquanto o azevém pode reduzir a produção de trigo em até 70%. Nas situações de controle satisfatório, mas não de

eficiência total, as perdas provocadas para as infestações das três plantas daninhas se situam entre 3% a 18%. Estudos em outros países, como na Austrália (JACOBS; KINGWELL, 2016) e Estados Unidos da América (LIVINGSTON et al., 2015) concluem que as perdas anuais provocadas pelas plantas daninhas resistentes se situam entre 4% a 20%.

Estimativa da área com plantas daninhas resistentes no Brasil

A Embrapa, através do seu grupo de pesquisadores da área de plantas daninhas, tem realizado periodicamente o monitoramento da resistência de plantas daninhas a herbicidas nos sistemas de produção de grãos no Brasil. Este monitoramento foi iniciado em 2010, pelo projeto “Identificação e caracterização de plantas daninhas resistentes ao herbicida glyphosate no Brasil”, sendo associado atualmente ao projeto “Manejo integrado de plantas daninhas resistentes a herbicidas nos sistemas de produção de soja”, que tem atuação em todas as principais regiões produtoras de soja do país. A metodologia utilizada em ambos os projetos é baseada em quatro fontes de informação: questionários e consultas à assistência técnica, produtores e outros pesquisadores; coleta de sementes de áreas suspeitas de resistência, com posterior teste em casa-de-vegetação; experimentos realizados diretamente no campo; e visitas a áreas com suspeita de resistência, que são realizadas pelos pesquisadores e colaboradores do projeto.

Pelas informações obtidas pelos projetos, o grupo de pesquisadores estima que atualmente existem 20,1 milhões de ha, no sistema de produção de soja, com a presença de populações resistentes das três principais plantas daninhas discutidas neste estudo, o azevém, a buva e o capim-amargoso, cujos casos, baseados no monitoramento citado acima, serão abordados individualmente a seguir.

Análise econômica geral

A presença de azevém resistente está restrita aos Estados do Sul do país, com área estimada em 4,2 milhões de ha, sendo que em 3,4 milhões o azevém aparece simultaneamente com buva resistente. Neste cenário, conforme o tratamento considerado, o custo adicional de controle no sistema de produção de soja é estimado entre R\$ 577.340.000,00 e R\$ 1.050.240.000,00, com incremento médio de R\$ 813.790.000,00 por ano.

A área, com presença apenas de buva resistente no Brasil é estimada em 7,7 milhões de ha, sendo que a somatória do aumento dos custos de controle nestas áreas se situa entre R\$ 971.740.000,00 a R\$ 1.653.960.000,00, com aumento médio anual de R\$ 1.312.850.000,00.

A estimativa da área total infestada com capim-amargoso resistente ao glifosato atinge 8,2 milhões de ha, sendo 5,5 milhões de infestação resistente com essa espécie isoladamente, onde o custo total de controle aumenta para o intervalo entre R\$ 1.454.200.000,00 a R\$ 2.047.650.000,00, com incremento médio de R\$ 1.750.925.000,00 ao ano. O pior cenário em relação ao aumento dos custos é a presença de capim-amargoso e buva em infestação mista, situação estimada em 2,7 milhões de ha, onde os custos aumentam entre R\$ 793.260.000,00 a R\$ 1.294.650.000,00, com incremento médio de R\$ 1.041.255.000,00 por ano.

Analisando toda a área de soja infestada com plantas daninhas resistentes no Brasil, os custos de controle em relação a área sem problemas de resistência estão entre R\$ 3.796.540.000,00 a R\$ 6.046.500.000,00, com incremento médio de R\$ 4.918.820.000,00 ao ano. Se foram acrescentadas a este custo de controle, perdas médias de 5% da cultura da soja em função da competição com a população resistente, o custo total da resistência no Brasil poderia atingir R\$ 9 bilhões anualmente.

Este quadro pode ainda piorar em caso do surgimento de novas espécies resistentes, especialmente ao glifosato, ou a disseminação de espécies relatadas recentemente como resistentes ao

herbicida, como o capim-pé-de-galinha e especialmente o caruru-palmeri, que nos Estados Unidos da América provocou um aumento do custo de controle em US\$ 40 ha⁻¹ na cultura do milho, US\$ 52 ha⁻¹ na cultura da soja e US\$ 75 ha⁻¹ na cultura do algodão (CARPENTER; GIANESSI, 2010; ZHOU et al., 2015). Para as condições brasileiras, estima-se que os custos de controle em áreas com caruru-palmeri seriam aumentados entre R\$ 249,60 a R\$ 563,00 ha⁻¹.

Considerações finais

A resistência de plantas daninhas a herbicidas produz uma série de impactos negativos ao sistema produtivo, sendo o econômico um dos principais, através do aumento dos custos de controle e das possíveis perdas de produtividade oriundas da matocompetição.

Na história da soja no Brasil, o impacto econômico foi muito semelhante entre os dois principais ciclos de resistência de plantas daninhas ocorridos na cultura: para os herbicidas inibidores da ALS e ACCase, entre os anos de 1993 até o início dos anos 2000 e para os inibidores da EPSPs (glifosato) a partir do ano de 2003. Em ambos os casos, o manejo da população resistente provocou aumento de controle em até quatro vezes, comparado com áreas sem resistência, com alto custo para a agricultura do país.

Atualmente, o custo médio da resistência no Brasil, apenas para o sistema de produção de soja, é estimado em R\$ 4.918.820.000,00 ao ano, que se acrescido das possíveis perdas da cultura em função da matocompetição, este total pode atingir R\$ 9 bilhões anualmente.

Nesse cenário, é extremamente importante que todos os agentes do setor produtivo se conscientizem da importância de enfrentamento do problema da resistência das plantas daninhas aos herbicidas, cujo planejamento deve ser feito dentro dos princípios do manejo integrado de plantas daninhas (MIPD), que pode ser definido como sendo a seleção e a integração de métodos de controle e o conjunto de critérios para a sua utilização, com resultados favoráveis dos pontos de vista agrônomo, econômico, ecológico e social.

Dentre os principais métodos destacam-se o preventivo (cuidados na aquisição de sementes; limpeza de máquinas e equipamentos, especialmente as colheitadeiras; e a manutenção de beiras de estrada, carregadores e terraços livre de infestantes); o cultural (diminuição dos períodos de pousio; a produção de palhada para cobertura do solo; a utilização de cultivares adaptadas em espaçamento entre linhas e populações adequadas e a rotação de culturas); o mecânico (capinas de repasse e a roçada); e o químico, em que a principal ação seria a utilização de herbicidas de diferentes mecanismos de ação, em diferentes sistemas de controle, como a integração da aplicação de herbicidas pré- e pós-emergentes, na mesma área de cultivo.

Vale lembrar que em qualquer sistema de produção agrícola e em qualquer cenário de resistência, o manejo integrado de plantas daninhas deve ser sempre gerenciado por um engenheiro agrônomo responsável pela atividade.

Referências

- ADEGAS, F. S.; GAZZIERO, D. L. P. Resistência de *Digitaria insularis* aos herbicidas inibidores da EPSPs. In: AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L. (Ed.). **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Pelotas: Editora UFPel, 2014. p. 304-311.
- AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L. Resistência de plantas daninhas a herbicidas. In: AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L. (Ed.). **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Pelotas: Editora UFPel, 2014. p. 9-32.
- CARPENTER, J. E.; GIANESSI, L. P. Economic impact of glyphosate resistant weeds. In: NANDULA, V. K. (Ed.). **Glyphosate resistance in crops and weeds**. New York: John Wiley & Sons, 2010. p. 297-312.
- FLECK, N. G. Competição de azevém (*Lolium multiflorum* L.) com duas cultivares de trigo. **Planta Daninha**, v. 3, n. 2, p. 61-67, 1980.
- GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; VOLL, E.; VARGAS, L.; KARAM, D.; MATALLO, M. B.; CERDEIRA, A. L.; FORNAROLI, D. A.; OSIPE, R.; SPENGLER, A. N.; ZOIA, L. Interferência da buva em áreas cultivadas com soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., Ribeirão Preto, 2010. **Anais...** Londrina: SBCPD, p. 1555-1558.
- GAZZIERO, D. L. P.; VOLL, E.; FORNAROLLI, D.; VARGAS, L.; ADEGAS, F. S. Efeitos da convivência do capim-amargoso na produtividade da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 28., Campo Grande, 2012. **Anais...** Londrina: SBCPD, 6 p. trabalho 733.
- HEAP, I. **International survey of herbicide resistant weeds**. Disponível em: <www.weedscience.org>. Acesso em: 14 jul. 2017.
- HILTON, H. W. Herbicide tolerant strains of weeds. **Hawaiian Sugar Plant Association Annual Report**, 1957. p. 69.
- JACOBS, A.; KINGWELL, R. S. The Harrington Seed Destructor: its role and value in farming systems facing the challenge of herbicide-resistant weeds. **Agricultural Systems**, v. 142, p. 33-40, 2016.
- LIVINGSTON, M.; FERNANDEZ-CORNEJO, J.; UNGER, J.; OSTEN, C.; SCHIMMELPFENNIG, PARK, T.; LAMBERT, D. **The economics of glyphosate resistance management in corn and soybean production**. Washington: USDA, Economic Research Service, 2015. 45 p. (Economic Research Report, 184).
- PANNELL, D. J.; TILLIE, P.; RODRÍGUEZ-CEREZO, E.; ERVIN, D.; FRISVOLD, G. B. Herbicide resistance: economic and environmental challenges. **AgBioForum**, v. 19, n. 2, p. 136-155, 2016.
- PAULA, J. M.; AGOSTINETTO, D.; SCHAEGLER, C. E.; VARGAS, L.; SILVA, D. R. O. Competição de trigo com azevém em função de épocas de aplicação e doses de nitrogênio. **Planta Daninha**, v. 29, n. 3, p. 557-563, 2011.

PIMENTEL, D.; BURGESS, M. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. In: PIMENTEL, D.; PESHIN, R. (Ed.). **Integrated Pest Management: pesticide problems**. New York: Springer, 2014. v. 3, p. 47-71.

SWITZER, C. M. The existence of 2,4-D resistant strains of wild carrot. In: NORTHEASTERN WEED CONTROL CONFERENCE, 11., 1957. **Proceedings...** p. 315-318.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S.; RIZZARDI, M. A.; SILVA, V. C. Identificação de biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*) resistentes ao herbicida glyphosate em pomares de maçã. **Planta Daninha**, v. 22, n. 4, p. 617-622, 2004.

ZHOU, X.; LARSON, J. A.; LAMBERT, D. M.; ROBERTS, R. K.; ENGLISH, B. C.; BRYANT, K. J. Farmer experience with weed resistance to herbicides in cotton production. **AgBioForum**, v. 18, n. 1, p. 114-125, 2015.

**Circular
Técnica, 132**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja

Rod. Carlos João Strass, s/n, acesso Orlando Amaral,
Caixa Postal 231, CEP 86001-970,
Distrito de Warta, Londrina, PR

Fone: (43) 3371 6000 Fax: (43) 3371 6100

www.embrapa.br/soja

www.embrapa.br/fale-conosco/sac/



1ª edição

PDF digitalizado (2017)

**Comitê de
publicações**

Presidente: *Ricardo Villela Abdelnoor*

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

Membros: *Alvadi Antonio Balbinot Junior, Claudine Dinali Santos Seixas, Fernando Augusto Henning, José Marcos Gontijo Mandarino, Liliâne Márcia Mertz-Henning, Maria Cristina Neves de Oliveira, Norman Neumaier e Osmar Conte*

Expediente

Supervisão editorial: *Vanessa Fuzinato Dall'Agnol*

Normalização bibliográfica: *Ademir Benedito Alves de Lima*

Editoração eletrônica: *Marisa Yuri Horikawa*