

MANEJO DE RESISTÊNCIA EM SISTEMAS DE CULTIVO SOJA/MILHO

Leandro Vargas¹, Dionísio Luiz Pisa Gazziero², Dirceu Agostinetto³, Décio Karam⁴ e Fernando Stornilo Adegas²

¹Pesquisador da Embrapa Trigo; ²Pesquisador da Embrapa Soja; ³Professor da UFPel; ⁴Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

Introdução

A tecnologia da soja transgênica, que permite o uso do glifosato em pós-emergência da soja sem afetar a cultura, significou para os produtores a oportunidade de controlar as plantas daninhas de forma fácil, eficiente e com relativo baixo custo. Existem alguns casos em que o custo com herbicida foi reduzido em mais de 80%, viabilizando o cultivo da soja em alguns anos, como em 2005. Para a comunidade científica, essa tecnologia apresentou-se como uma importante alternativa para incrementar o manejo das plantas daninhas, principalmente de espécies resistentes aos inibidores da ALS, como o leiteiro e o picão-preto resistentes ao imazaquin (Scepter), já que o glifosato possui mecanismo de ação diferente daqueles que vinham sendo utilizados para controlar as plantas daninhas seletivamente na cultura da soja. Dessa forma, a tecnologia da soja transgênica foi aceita e recomendada pela comunidade científica e adotada rapidamente pelos produtores. Entretanto, tanto os produtores como os técnicos foram surpreendidos com a rápida seleção de espécies daninhas em resposta ao uso repetido do glifosato.

Uma visão global indica que, apesar dos argumentos e da classificação do glifosato como um produto de baixo risco para seleção de espécies daninhas resistentes, hoje já existem mais de 20 espécies resistentes a esse herbicida no mundo, com nove delas identificadas nos últimos quatro anos. Segundo Heap (2013), o primeiro caso ocorreu com azevém (*Lolium rigidum*) na Austrália, em 1996, e depois surgiram diversos outros casos de biótipos resistentes, como capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*), caruru (*Amaranthus palmeri*; *Amaranthus rudis*), losna (*Ambrosia artemisiifolia*, *Ambrosia trifida*), buva (*Conyza canadensis* e *Conyza bonariensis*), azevém (*Lolium multiflorum*), sorgo-de-alepo (*Sorghum alepense*), tanchagem (*Plantago lanceolata*) e Capim-amargoso (*Digitaria insularis*). Dentre as espécies que manifestaram resistência ao glifosato, a buva (*Conyza canadensis*) apresenta grande importância em algumas regiões do mundo, como nos Estados Unidos, onde o biótipo resistente ocorre em grande parte do chamado "cinturão do milho", e também no Brasil, onde a resistência ao glifosato já foi confirmada tanto em populações de *Conyza bonariensis* como de *Conyza canadensis* (HEAP, 2013). Sabe-se que a buva aparece com grande frequência na maioria das regiões de soja e milho em nosso país, o que aumenta ainda mais a preocupação em relação a este problema.

O número de plantas daninhas resistentes ao glifosato está aumentando rapidamente em áreas cultivadas com soja transgênica em países como os Estados Unidos (HOLT; LEBARON, 1990). No Brasil, foram identificadas três espécies resistentes (buva, azevém e capim-amargoso) e quatro tolerantes (leiteiro, corriola, trapoeraba e poaia), e a identificação de outras espécies dependerá do modo que o glifosato será utilizado nos próximos anos (BIANCHI et al., 2008).

Histórico da seleção de plantas resistentes e tolerantes a herbicidas no Brasil

A seleção de espécies tolerantes e/ou resistentes iniciou no Brasil na década de 1970 com o uso repetido do herbicida metribuzin. Esse herbicida foi introduzido para controlar o picão-preto (*Bidens pilosa* e *Bidens subalternans*), entretanto, apresentava baixa eficiência sobre o leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), que foi selecionado, e tornou-se a planta daninha predominante nas lavouras no início da década de 1980. Nessa época o controle manual (capina e arranquio) e o controle mecânico, com uso de capinadeira tracionadas, eram práticas comuns.

O problema com o leiteiro foi resolvido em meados da década de 1980, com a introdução do herbicida imazaquin (um inibidor da enzima Aceto Lactato Sintase - ALS). Essa molécula passou a ser utilizada amplamente pelos produtores, sendo durante mais de 10 anos o principal herbicida aplicado nas áreas cultivadas com soja. A associação de imazaquin + trifluralin foi o tratamento herbicida mais usado em lavouras de soja naquela época. O uso continuado do imazaquin resultou, em meados da década de 1990, na seleção de plantas de leiteiro e picão-preto, resistentes ao imazaquin e aos demais inibidores da enzima ALS (CARLSON et al., 2012). Além dessas espécies resistentes, o imazaquin também selecionou plantas tolerantes, como o balãozinho (*Cardiospermum halicacabum*). Ou seja, como já havia acontecido anteriormente com o metribuzin, o uso repetido de imazaquin selecionou o leiteiro resistente, e essa espécie tornou-se a planta daninha mais comum nas lavouras de soja. A diferença estava no fato de que o metribuzin selecionou leiteiro tolerante e o imazaquin selecionou leiteiro e picão-preto com resistência aos inibidores da ALS.

A solução para controle das espécies resistentes aos inibidores da ALS (leiteiro e picão-preto) e tolerantes (balãozinho) surgiu com a introdução no mercado da soja resistente ao herbicida glyphosate (soja RR). A aceitação da nova tecnologia foi rápida pelos produtores, pois a oportunidade de uso do glyphosate como herbicida seletivo para soja representava facilidade de aplicação, eficiência de controle de plantas daninhas em diferentes estádios vegetativos, com custo relativo aos demais herbicidas significativamente menor. O glyphosate significou para o produtor a simplificação do controle de plantas daninhas e economia em mais de 50%, de forma geral, nos gastos com herbicidas.

As vantagens identificadas pelos produtores no uso do glyphosate para controle das plantas daninhas tornou a soja RR uma unanimidade, e as lavouras de soja do Rio Grande do Sul foram rapidamente cultivadas quase que exclusivamente com soja RR.

Contudo, a história se repetiu novamente, como já havia acontecido com o metribuzin e o imazaquin, o glyphosate passou a ser, praticamente, o único herbicida utilizado na cultura da soja, impondo grande pressão de seleção sobre as espécies daninhas e selecionando as tolerantes e/ou resistentes. O uso repetido e contínuo do glyphosate resultou na seleção das plantas daninhas tolerantes, como a corriola (*Ipomoea* sp.), o leiteiro, a poaia (*Richardia brasiliensis*) e a trapoeraba (*Commelina* sp.), e seleção de espécies resistentes, como o azevém (*Lolium multiflorum*), a buva (*Conyza bonariensis*, *C. canadensis*, e *C. sumatrensis*) e capim-amargoso (*Digitaria insularis*) (BIANCHI et al., 2008).

A resistência de azevém ao glyphosate, identificada no ano de 2003, tornou os herbicidas inibidores da ALS e da Acetyl-CoA carboxylase (ACCase) como a principal opção de controle para essa espécie. Assim, essas moléculas passaram a ser usadas amplamente, e, mais uma vez, o uso repetido da mesma molécula herbicida resultou na seleção de plantas resistentes. O azevém resistente aos inibidores da ALS foi identificado em 2010 e aos inibidores da ACCase em 2011. Esses biótipos de azevém apresentam resistência múltipla, ou seja, são resistentes ao glyphosate e aos herbicidas inibidores da ALS ou ao glyphosate e aos inibidores da ACCase. Até o momento não existem relatos de resistência aos três mecanismos (glyphosate, ALS e ACCase) na mesma planta de azevém, contudo, acredita-se que isso não deve demorar a acontecer.

A resistência de buva ao glyphosate, identificada em 2005 (BIANCHI et al., 2008), fez com que os herbicidas inibidores da ALS fossem empregados amplamente para controle dessa espécie em soja. Como resultado da alta pressão de seleção exercida pelos inibidores da ALS, em 2011, foram identificados biótipos de buva com resistência múltipla (ao glyphosate e aos inibidores da ALS).

Portanto, é fácil perceber que o uso repetido e continuado do mesmo herbicida, ou de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação, seleciona em poucos anos plantas daninhas resistentes. Para evitar a seleção de plantas daninhas resistentes, o uso alternado de herbicidas com mecanismos de ação diferentes é altamente eficiente. Contudo, o custo do tratamento ainda é o principal critério de escolha do tratamento herbicida a ser empregado nas lavouras, e as práticas de prevenção e manejo não são aplicadas. Esse tipo de atitude significa economia no primeiro momento, contudo, em longo prazo, com o surgimento de espécies resistentes, resulta em controle ineficiente e aumento de custo de produção.

Controle de azevém

O controle dos biótipos de azevém resistentes ao glyphosate, de forma geral, é obtido com uso dos herbicidas gramínicos "fops" e "dims" (Tabela 1). É importante o planejamento do controle antes da semeadura (20 a 30 dias antes da semeadura da soja), de forma a permitir o controle do azevém em tempo suficiente para evitar os efeitos negativos da competição e da alelopatia sobre a cultura. Além disso, em caso de uso de gramínicos, deve-se levar em consideração que alguns deles possuem efeito residual e podem afetar culturas como o milho, o trigo e a cevada. Para evitar problemas, devem-se respeitar os períodos de carência recomendados.

O cultivo da área com trigo, centeio ou aveia diminui o número de plantas de buva quando comparado com áreas não cultivadas, deixadas em pousio. A implantação de culturas que permitam a colheita de grãos, como trigo ou espécies que possam ser utilizadas somente para cobertura do solo, como aveia, ervilhaca ou nabo forrageiro, entre outras, são boas alternativas. A *Brachiaria ruziziensis* também é uma boa opção para regiões mais quentes, como Paraná, e o seu uso pode ser feito no sistema lavoura-pecuária com o milho safrinha ou mesmo apenas para ocupação de área e formação de cobertura morta.

Tabela 1. Herbicidas gramínicos e não seletivos que controlam azevém resistente e sensível ao glifosato.

Mecanismo de Ação	Grupo químico	Ingrediente Ativo	Nome Comum
-----HERBICIDAS GRAMINICIDAS -----			
Inibidores da ACCase	Ariloxifenoxi-propionatos (fop's)	Fluazifop-p	Fusilade
		Haloxifop-r	Verdict R, Gallant
		Propaquizafop	Shogun
		Fenoxaprop	Furore, Podium
		Diclofop	Iloxan
	Ciclohexanodionas (dim's)	Clethodim	Select
		Sethoxydim	Poast
ALS	Sulfonilureia	Iodosulfuron	Hussar
		Nicosulfuron	Nicosulfuron nortox Sanson
-----HERBICIDAS NÃO SELETIVOS -----			
Inibidores do FS I	Bipiridílios	Paraquate	Gramoxone
		Paraquate + diurom	Gramocil
Inibidores da GS	Ácido fosfínico	Amônio-glufosinato	Finale

ALS: Acetolactato sintase; ACCase: Acetyl-CoA carboxylase; FS I: Fotossistema I; GS: Glutamina sintetase.

A associação do efeito supressor das culturas com uso de herbicidas proporciona controle satisfatório de buva, na maioria dos casos. Os herbicidas usados na cultura do trigo, como iodosulfurom, metsulfurom e o 2,4-D (Tabela 2), controlam buva, mas seu uso deve atender às recomendações de uso para a cultura e para a planta daninha com relação ao estágio, época de aplicação e dose. Metsulfurom deve ser utilizado, no mínimo, 60 dias antes da semeadura da soja ou do milho, pois a decomposição deste produto no solo pode ser reduzida pela falta de umidade ou por temperaturas muito baixas por longos períodos, exigindo, assim, um intervalo maior entre a sua aplicação e a semeadura da soja.

Áreas utilizadas para alimentação de animais devem ser manejadas com cuidado para evitar intoxicação dos animais; além disso, o pastejo mantém a forrageira a baixa altura e, com isso, haverá espaço para a buva se estabelecer. Os animais também podem danificar plantas de buva, quebrando caules e galhos, dificultando a ação dos herbicidas.

O manejo antes da semeadura da soja (dessecação) tem sido realizado de forma eficiente com 2,4-D ou clorimurum, associados ao glifosato (Tabela 2). As aplicações sequenciais têm apresentado excelentes resultados. Nesse caso, o glifosato associado ao 2,4-D ou ao clorimurum é aplicado 10 a 15 dias antes da segunda aplicação, a qual deve ser feita um a dois dias antes da semeadura, usando-se dicloreto de paraquate ou dicloreto de paraquate + diurom ou, ainda, amônio-glufosinato (Tabela 2). Aplicações sequenciais usando somente produtos de contato, como amônio-glufosinato, dicloreto de paraquate ou paraquate + diurom, apresentam alta eficiência, desde que usados em plantas pequenas. Nesses casos, pode ser usado o mesmo produto na primeira e na segunda aplicação ou alternar produtos. Vale destacar que misturas de tanque não são recomendadas, assim as associações devem ser realizadas aplicando-se os produtos isoladamente.

O uso de herbicidas pré-emergentes, como o flumioxazin, o diclosulam e o sulfentrazone (Tabela 2), apresenta controle satisfatório de buva proveniente do banco de sementes do solo. Esses herbicidas, quando utilizados na pré-emergência da soja (semear/aplicar ou aplicar/semear), proporcionam controle residual de 20 dias ou mais, dependendo das condições de solo e clima.

Recentemente foram relatados dois novos casos de resistência de azevém aos herbicidas inibidores da ALS e inibidores da ACCase. Esses biótipos, além de serem resistentes ao glifosato, adquiriram a capacidade de sobreviver a produtos como Hussar, Nicosulfuron e graminicidas em geral. Esse fato representa grande impacto agrícola, pois o Hussar é o principal herbicida usado em trigo, o nicosulfuron em milho e os graminicidas na dessecação pré-semeadura da soja/milho ou na cultura da soja para controle do azevém. As alternativas de controle desses biótipos restringem-se aos produtos de contato ou aos “velhos” produtos pré-emergentes, como a trifluralina.

Estão sendo avaliados biótipos de buva com suspeita de resistência aos inibidores da ALS (clorimuron, metsulfuron e nicosulfuron), biótipos de pé-de-galinha e caruru suspeitos de resistência ao glifosato.

De forma geral, o manejo dos biótipos resistentes, como azevém e buva, deve ser feito com mecanismos alternativos, não repetindo uso em um mesmo ano de mecanismos de ação, evitando uso dos produtos para os quais os biótipos possuem resistência. Já o manejo de espécies tolerantes, como o leiteiro, corriola, trapoeraba e poaia-branca, deve ser feito em estádios iniciais de desenvolvimento dessas espécies e com uso da dose correta, indicada na bula dos produtos.

Tabela 2. Herbicidas que controlam buva resistente e sensível ao glifosato.

Mecanismo de ação	Grupo químico	Ingrediente ativo	Nome comercial
-----CONTROLE NO INVERNO-----			
Inibidor da ALS	Sulfoniluréia	iodosulfurom - metílico	Hussar
		metsulfuron - metílico	Ally
Mimetizador de auxinas	Ácido ariloxialcanóico	2,4-D	Aminol 806, Capri, DMA 806 BR, Herbi D-480
----- NA DESSECAÇÃO PRÉ-SEMEADURA -----			
Inibido do FS I	Bipiridílios	paraquate	Gramoxone
		dicloreto de paraquate + diurom	Gramocil
Inibidor da GS	Homoalanina substituída	amônio-glifosinato	Finale
Mimetizador de auxinas	Ácido ariloxialcanoico	2,4-D	Aminol 806, Capri, DMA 806 BR, Herbi D-480, U46 D-Fluid 2,4-D
----- NA PRÉ-EMERGÊNCIA EM SOJA -----			
Inibidor da ALS	Triazolopirimidina	diclosulam	Spider 840 WG
Inibidor de PROTOX	Triazolona	sulfentrazona	Boral 500 SC
	Ftalimidas	flumioxazin	Flumizyn 500
----- NA PÓS-EMERGÊNCIA DA SOJA -----			
Inibidor da ALS	Triazolopirimidina	diclosulam	Spider 840 WG
		cloransulam	Pacto
	Sulfoniluréia	clorimuron	Classic

EPSPs: enolpyruvylshikimate-3-phosphate sintase; ALS: Acetolactato sintase; ACCase: Acetyl-CoA carboxylase; FSI: Fotossistema I; GS: Glutamina sintetase, PROTOX: protoporfirinogem oxidase

Custo da resistência

Os principais custos da resistência relacionam-se à necessidade do uso de herbicidas alternativos e às perdas de rendimento da cultura, por causa da competição de plantas daninhas resistentes remanescentes na lavoura.

O custo com herbicidas alternativos é variável com a opção adotada pelo produtor, uma vez que há, na maioria das vezes, mais do que uma possibilidade de produto para manejo das populações resistentes. Na Tabela 1 são apresentadas diferentes situações de populações resistentes a herbicidas que ocorrem nas lavouras e os custos de alguns tratamentos herbicidas possíveis de serem usados nas operações de dessecação e pós-emergência. O custo dos tratamentos com herbicida pode variar conforme a o custo dos produtos em cada região.

A primeira situação (Situação 1: ausência de resistência) apresentada na Tabela 3 refere-se ao custo de controle sem a presença de plantas resistentes. Nesta situação considera-se que uma aplicação de glyphosate na dessecação e uma aplicação na pós-emergência sejam suficientes para obter-se controle satisfatório das plantas daninhas. O custo total com herbicida nesta situação relaciona-se ao glyphosate e será considerado como custo mínimo R\$ 60,00 de controle (duas aplicações de glyphosate, dessecação e pós-emergência) para fins de comparação e cálculo do custo da resistência. Já a situação 2 considera a presença de azevém resistente ao glyphosate e, com isso, a necessidade de uso de um herbicida graminicida alternativo, associado ao glyphosate para controle do azevém (Tabela 2). O custo do tratamento para dessecação aumenta, neste caso, de R\$ 30,00 para R\$ 70,00 (R\$ 30,00 custo do glyphosate e

R\$ 40,00 custo do graminicida), ou seja, aumento de custo de R\$ 40,00. Em algumas situações (falhas de controle por causa do efeito guarda-chuva ou reinfestações), existe a necessidade de complementar o controle com uso do paraquat, e, neste caso, o custo com herbicida na dessecação aumenta para R\$ 91,00 (Tabela 3). Na pós-emergência, na opção 1, considera-se a não ocorrência de azevém resistente ao glyphosate dentro da cultura, e, dessa forma, o glyphosate poderá ser usado isolado e o controle terá custo de R\$ 30,00. Contudo, se ocorrer a presença de azevém resistente ao glyphosate, haverá a necessidade de acrescentar um graminicida (Tabela 1) ao tratamento herbicida, aumentando o custo com herbicida para R\$ 70,00. Dessa forma, a presença do azevém resistente exige o uso de um herbicida graminicida com mecanismo de ação diferente do glyphosate, com aumento no custo com herbicida entre R\$ 40,00 e R\$ 61,00 (Tabela 3), dependendo do produto/tratamento escolhido.

Na situação 3, considera-se a presença de buva resistente ao glyphosate, e, com isso, a necessidade de uso de um herbicida adicional (Tabela 2) para controle dessa espécie. O custo do tratamento para dessecação, neste caso, varia entre R\$ 34,00 e R\$ 52,00. Considerando a pós-emergência, se não ocorrer a presença de buva resistente, o produtor poderá adotar a opção 1, ou seja, usar o glyphosate isolado e, neste caso, o controle terá custo de R\$ 30,00. Contudo, se ocorrer a presença de buva, existirá a necessidade de acrescentar um herbicida com mecanismo de ação diferente (Tabela 2), aumentando o custo com o tratamento herbicida na pós-emergência, igualmente ao que ocorreu na dessecação. Dessa forma, a presença de buva resistente resulta em aumento no custo total de controle variável entre R\$ 4,00 e R\$ 59,00 (Tabela 3).

Na situação 4, considera-se a presença de buva e azevém resistente ao glyphosate, e, com isso, a necessidade de uso de dois herbicidas adicionais (Tabelas 1 e 2), associados ao glyphosate, para controle dessas espécies. O custo do tratamento para dessecação aumenta, neste caso, de R\$ 30,00 para R\$ 90,00 (Tabela 3). A presença do azevém pode exercer efeito guarda-chuva ou proporcionar reinfestações, necessitando-se complementar o controle com uso do paraquat, que gera um custo adicional na dessecação, resultando em um custo de até R\$ 111,00 (Tabela 3). Considerando a pós-emergência, se não ocorrer a presença de azevém e buva resistente, a opção 1 é mais econômica e o glyphosate poderá ser usado isolado, e, neste caso, o controle terá custo de R\$ 30,00. Por sua vez, se ocorrer a presença de reinfestação de azevém e buva resistente, existirá a necessidade de acrescentar herbicidas alternativos ao glyphosate (Tabelas 1 e 2). Dessa forma, a presença de azevém e buva resistentes na pós-emergência podem resultar em aumento no custo total de controle variável entre R\$ 60,00 e R\$ 153,00 (Tabela 3).

As situações 5, 6 e 7 consideram resistência múltipla, ou seja, a situação 5 considera a presença da buva resistente ao glyphosate e aos inibidores da enzima ALS, na situação 6 do azevém resistente ao glyphosate e inibidores da ACCase, e a situação 7 considera a presença de buva resistente ao glyphosate + ALS e de azevém resistente ao glyphosate + ACCase na mesma área, (Tabela 3), sendo necessário o uso de mecanismos herbicidas distintos para controle desses biótipos de acordo com cada resistência (Tabela 4).

Vale destacar que a resistência múltipla de azevém ao glyphosate e graminicidas restringe a possibilidade de controle dessa planta daninha aos herbicidas de contato (Tabelas 1 e 4), como o paraquat e o glufosinato, que apresentam eficiência limitada sobre o azevém. Já a buva resistente ao glyphosate e inibidores da ALS restringe seu controle aos herbicidas hormonais e de contato, como o paraquat e glufosinato (Tabelas 2 e 4). Assim, os prejuízos relacionados à resistência múltipla vão além do aumento do custo de controle, pois haverá perdas por competição das plantas daninhas com as culturas por causa do baixo nível de controle proporcionado pelos herbicidas alternativos disponíveis.

Tabela 3. Diferentes situações de presença de plantas daninhas resistentes em lavouras, opções e custos de controle.

Situação 1: ausência de resistência					
Dessecação	Custo (R\$/ha)	Pós-emergência		Custo (R\$/ha)	Custo total (R\$/ha)
*glyphosate 3 L/ha	30,00	glyphosate 3 L/ha		30,00	60,00
Situação 2: presença de azevém resistente ao glyphosate					
Dessecação	Custo (R\$/ha)	Pós-emergência		Custo (R\$/ha)	Custo total (R\$/ha)
glyphosate 3 L/ha clethodim 450 mL/ha (paraquat 1,5 L/ha)	30,00 40,00 (21,00)	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	100,00 (121,00)
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha clethodim 450 mL/ha	30,00 40,00	140,00 (161,00)
Situação 3: presença de buva resistente ao glyphosate					
Dessecação	Custo (R\$/ha)	Pós-emergência		Custo (R\$/ha)	Custo total (R\$/ha)
glyphosate 3 L/ha 2,4-D 1,5 L/ha	30,00 20,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	80,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Clorimurrom 60 g/ha	30,00 3,00	83,00
glyphosate 3 L/ha Clorimurrom 80 g/ha	30,00 4,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	64,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Pacto 35 g/ha	30,00 32,00	96,00
glyphosate 3 L/ha Pacto 35 g/ha	30,00 32,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	92,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Clorimurrom 60 g/ha	30,00 3,00	95,00
glyphosate 3 L/ha Spider 30 g/ha	30,00 27,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	87,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Pacto 35 g/ha	30,00 32,00	119,00
glyphosate 3 L/ha Finale 1,5 L/ha	30,00 32,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	92,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Clorimurrom 60 g/ha	30,00 3,00	95,00
Situação 4: presença de buva e azevém resistente ao glyphosate					
Dessecação	Custo (R\$/ha)	Pós-emergência		Custo (R\$/ha)	Custo total (R\$/ha)
glyphosate 3 L/ha 2,4-D 1,5 L/ha clethodim 450 mL/ha (paraquat 1,5 L/ha)	30,00 20,00 40,00 (21,00)	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	120,00 (141,00)
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Clorimurrom 60 g/ha	30,00 3,00	123,00 (144,00)
		Opção 3	glyphosate 3 L/ha Pacto 35 g/ha	30,00 32,00	152,00 (173,00)
		Opção 4	glyphosate 3 L/ha Clorimurrom 60 g/ha clethodim 450 mL/ha	30,00 3,00 40,00	163,00 (184,00)
		Opção 5	glyphosate 3 L/ha Pacto 35 g/ha clethodim 450 mL/ha	30,00 32,00 40,00	192,00 (213,00)
Situação 5: presença de buva resistente ao glyphosate e inibidores da ALS					
Dessecação	Custo (R\$/ha)	Pós-emergência		Custo (R\$/ha)	Custo total (R\$/ha)
*glyphosate 3 L/ha 2,4-D 1,5 L/ha	30,00 20,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	80,00
		Opção 2 Opção 3	glyphosate 3 L/ha Flumyzim 150 g/ha (planta aplica)	30,00 45,00	125,00
			glyphosate 3 L/ha Boral 0,6 L/ha (planta aplica)	30,00 50,00	130,00
glyphosate 3 L/ha Finale 1,5 L/ha	30,00 32,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	92,00
		Opção 2 Opção 3	glyphosate 3 L/ha Flumyzim 150 g/ha (planta aplica)	30,00 45,00	137,00
			glyphosate 3 L/ha Boral 0,6 L/ha (planta aplica)	30,00 50,00	142,00

*glyphosate formulação 360 g e.a. L⁻¹.

Continua...

Tabela 3. Continua...

Situação 6: presença de azevém resistente ao glyphosate e inibidores da ACCase					
Dessecação	Custo (R\$/ha)	Pós-emergência		Custo (R\$/ha)	Custo total (R\$/ha)
glyphosate 3 L/ha paraquat 1,5 + 1,5 L/ha	30,00 42,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	102,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Trifluralina 2 L/ha (planta e aplica)	30,00 20,00	122,00
		Opção 3 (milho)	glyphosate 3 L/ha Nicosulfuron 0,8 L/ha	30,00 50,00	152,00
		Opção 4 (milho)	glyphosate 3 L/ha Nicosulfuron 0,8 L/ha Atrazina 2 Kg/ha	30,00 50,00 40,00	192,00
Situação 7: buva resistente glyphosate e ALS e azevém ao glyphosate e ACCase					
Dessecação	Custo (R\$/ha)	Pós-emergência		Custo (R\$/ha)	Custo total (R\$/ha)
glyphosate 3 L/ha 2,4-D 1,5 L/ha paraquat 1,5 + 1,5 L/ha	30,00 20,00 42,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	122,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Flumizym 150 g/ha (planta aplica)	30,00 40,00	162,00
		Opção 3	glyphosate 3 L/ha Boral 0,6 L/ha (planta aplica) Trifluralina 2 L/ha	30,00 50,00 20,00	192,00
glyphosate 3 L/ha Finale 1,5 L/ha paraquat 1,5 + 1,5 L/ha	30,00 32,00 42,00	Opção 1	glyphosate 3 L/ha	30,00	134,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Flumizym 150 g/ha	30,00 40,00	174,00
		Opção 3	glyphosate 3 L/ha Boral 0,6 L/ha (planta aplica) Trifluralina 2 L/ha	30,00 50,00 20,00	204,00
Tratamentos "limpeza" pré-semeadura/herbicidas de contato					
diquat 3 L/ha	R\$ 63,00				
paraquat 1,5 L/ha	R\$ 21,00				
Óleo 0,5%	R\$ 5,00				

*glyphosate formulação 360 g e.a. L⁻¹.

Na situação 5, considera-se a presença de buva resistente ao glyphosate e aos inibidores da ALS e, com isso, excluem-se os herbicidas inibidores da ALS listados na situação 3 e adicionam-se outras moléculas herbicidas com ação sobre a buva (Tabelas 3 e 4). Observa-se que as opções são, para dessecação, o herbicida 2,4-D e o glufosinato e, para aplicação seletiva, os herbicidas pré-emergentes flumizim e boral. O custo total do controle, nesta situação, varia entre R\$ 50,00 e R\$ 142,00 (Tabela 3). Observa-se que os valores do custo total são menores do que aqueles observados na situação 3. Isso se deve as opções disponíveis serem restritas, destacando-se que estas opções apresentam menor eficiência de controle.

Na situação 6, considera-se a presença de azevém resistente ao glyphosate e aos inibidores da ACCase, e, assim, ocorre a exclusão dos herbicidas inibidores da ACCase listados na situação 2 e adicionam-se outras moléculas herbicidas com ação sobre o azevém (Tabelas 1, 2 e 4). Observa-se que as opções restringem-se, para dessecação, apenas ao herbicida paraquat e, para aplicação seletiva, os herbicidas pré-emergentes trifluralina, atrazina e nicosulfuron (caso o azevém não seja resistente aos inibidores da ALS). O custo total do controle, nesta situação, variou entre R\$ 102,00 e R\$ 192,00 (Tabela 3). Observa-se que os valores do custo total são maiores do que aqueles da situação 2. Isso se deve às opções disponíveis, que são restritas, destacando-se que estas opções apresentam menor eficiência de controle.

Na situação 7, considera-se a presença de buva e azevém com resistência múltipla. Observa-se que as opções restringem-se, para dessecação, apenas ao herbicida 2,4-D para buva e paraquat, bem como para o azevém (Tabelas 2, 3 e 4). Já para aplicação pós-emergente

seletiva, os herbicidas pré-emergentes flumizyn, trifluralina e atrazina são as opções. O custo total do controle, nesta situação, variou entre R\$ 122,00 e R\$ 204,00 (Tabela 3). Os valores são considerados elevados, e vale destacar que os tratamentos mencionados não apresentam alta eficiência de controle.

A seleção de azevém resistente ao glyphosate, aos inibidores da ALS e ACCase representa grande impacto econômico e técnico para a agricultura brasileira. O glyphosate apresenta custo baixo para o produtor e alta eficiência de controle. Já as moléculas iodosulfuron e nicosulfuron, inibidores da ALS, são os principais herbicidas usados na cultura do trigo e do milho, respectivamente, e, por causa da resistência, perderam a eficiência. Da mesma forma, os inibidores da ACCase (clethodim, sethoxydim, entre outros) consistiam nas principais alternativas para controle de azevém na dessecação pré-semeadura e em culturas como soja e trigo. A resistência de buva ao glyphosate tornou os herbicidas inibidores da ALS como a principal alternativa para controle. A preferência pelos inibidores da ALS se deve a eficiência de média a boa e, principalmente, por causa do custo relativamente baixo desses produtos (Tabela 3). O uso repetido dos herbicidas alternativos, tanto para azevém quanto para buva, sem a observação do princípio básico de prevenção e manejo da resistência, resultou em biótipos resistentes a esses herbicidas (CARLSON et al., 2012).

Dessa forma, a seleção de espécies tolerantes e resistentes no Brasil representa um forte impacto no custo de produção, já que o produtor terá que utilizar herbicidas alternativos na área, normalmente com custo superior ao do glyphosate e com menor eficiência. Nas situações de resistência simples, os produtos alternativos são eficientes e, se aplicados de forma adequada, impedem que ocorram perdas de rendimento das culturas por competição com as daninhas em virtude de falhas de controle. Já nas situações de resistência múltipla, os herbicidas alternativos apresentam eficiência menor e a probabilidade de ocorrer perdas por competição em virtude de falhas de controle é maior. Assim, nas situações de resistência simples e múltipla, o aumento do custo se deve à necessidade de uso de herbicidas com mecanismos alternativos, e na resistência múltipla somam-se as possíveis perdas de rendimento.

As perdas causadas pela competição são variáveis de acordo com o número de plantas por área, com o estágio vegetativo das culturas e das plantas daninhas, com a fertilidade do solo, com a disponibilidade de água entre outros fatores passíveis de competição entre as culturas e as plantas daninhas. Contudo, de forma geral, baseado em avaliações em lavouras comerciais e em relatos de produtores, a buva pode reduzir até 65% do rendimento da soja e o capim-amargoso em até 50%. Já o azevém pode reduzir a produção de trigo em 70% e a nabiça em 30%.

Tabela 4. Mecanismos de ação de herbicidas com azevém resistente e mecanismos alternativos de acordo com o tipo de resistência.

TIPO RESISTÊNCIA/MECANISMO	MECANISMO ALTERNATIVO
EPSPs (glifosato)	ALS, ACCase, FSI, GS
ALS	EPSPs, ACCase, FSI, GS
ACCase	EPSPs, ALS, FSI, GS
EPSPs + ALS	ACCase, FSI, GS
EPSPs + ACCase	ALS, FSI, GS
EPSPs + ALS + ACCase	FSI, GS

EPSPs: enolpyruvylshikimate-3-phosphate sintase; ALS: Acetolactato sintase; ACCase: Acetyl-CoA carboxylase; FSI: Fotossistema I; GS: Glutamina sintetase

Visão de futuro: novas moléculas e tecnologias para controle de plantas daninhas

Os casos de resistência no Brasil foram resolvidos historicamente com a introdução de novas moléculas ou de uma nova tecnologia que permitiu o uso de uma nova molécula. Contudo, para os novos casos de resistência múltipla (buva resistente ao glyphosate e inibidores da ALS e azevém resistente ao glyphosate e inibidores da ALS e ACCase), não existem perspectivas de lançamento de novas moléculas ou tecnologia com potencial de controle eficiente dessas plantas daninhas resistentes. Em pesquisa no site da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), constata-se que as novas tecnologias, em termos de plantas cultivadas resistentes a herbicidas, relacionam-se com os herbicidas glyphosate, amônio-glufosinato, 2,4-D, dicamba e herbicidas inibidores de pigmentos (HPPD) e da enzima ALS (Tabela 5). Em uma análise geral dessas tecnologias, fica evidente que estas são eficientes e oferecem alternativas novas para controle seletivo de buva (2,4-D, dicamba e amônio-glufosinato), entretanto, isso não é observado para as espécies gramíneas, como o azevém e o capim-amargoso. Portanto, considerando-se que não existem novos mecanismos de ação herbicida, sendo introduzidos no mercado, e que as novas tecnologias, envolvendo culturas modificadas para resistência a herbicidas, não oferecem solução para controle de azevém e capim-amargoso, pode-se especular que essas espécies serão os principais problemas a serem manejados no futuro.

Tabela 5. Culturas modificadas para resistência a herbicidas em avaliação na CTNBio.

EVENTO	MECANISMO DE AÇÃO
glyphosate + 2,4-D + Glufosinato	EPSPs + Auxinas + Glutamina
glyphosate + Dicamba	EPSPs + Auxinas
glyphosate + Sulfonilureias	EPSPs + ALS
glyphosate + Glufosinato + HPPD	EPSPs + Glutamina + Carotenóides
glyphosate + Auxinas + Glufosinato + ALS	EPSPs + Auxinas + Glutamina + ALS
Cultivance (resistência ALS)	ALS
HPPD (resistência aos inibidores de pigmentos)	Carotenóides

Prevenção e manejo da resistência: o que fazer?

A maior motivação para adoção de práticas de prevenção e manejo da resistência por parte do produtor resulta da resposta da seguinte pergunta: na impossibilidade de uso do glyphosate ou de outros herbicidas, como será realizado o controle de plantas daninhas? Seja qual for a resposta, certamente será com uso de métodos e produtos menos eficientes do que os que vinham sendo utilizados, com maior custo e, provavelmente, com maior impacto ambiental.

A decisão está “nas mãos” do produtor. Porém, cabe a assistência técnica apresentar alternativas de manejo para que o produtor decida levando em consideração as suas preferências. Contudo, é importante salientar que, para evitar o agravamento da seleção de espécies tolerantes e/ou resistentes e prolongar o tempo de utilização eficiente da tecnologia das culturas resistentes ao glyphosate e outros herbicidas, o produtor deve adotar medidas de manejo para prevenir a seleção de espécies resistentes e/ou tolerantes. Dentre várias práticas de manejo, as principais indicadas são:

a) Não usar consecutivamente herbicidas com o mesmo mecanismo de ação na mesma safra ou área. Não repetir o uso de herbicidas com mesmo mecanismo em uma cultura. Além disso, se usar na dessecação um mecanismo herbicida, não utilizar este mecanismo novamente na pré ou pós-emergência da cultura. Em casos onde a seleção de espécies resistentes e/ou

tolerantes ocorrer, deve ser implantado um sistema de rotação de mecanismos de ação herbicida, eficazes sobre as espécies-problema.

b) Monitorar e destruir plantas suspeitas de resistência. Após a aplicação do herbicida, as plantas que sobreviverem devem ser arrancadas, capinadas, roçadas, ou seja, controladas de alguma forma, evitando que essas plantas produzam flores ou sementes e se disseminem na área.

c) Fazer rotação de culturas. A rotação de culturas oportuniza a utilização de um número maior de mecanismos de ação herbicidas.

O cultivo permanente da área, com culturas de valor comercial ou para cobertura do solo - como trigo, centeio, canola, aveia, soja, milho -, diminui o número de plantas daninhas quando comparado com áreas não cultivadas (mantidas em pousio). O uso de estratégias como sobre-semeadura de aveia ou azevém em lavouras de soja e cultivo de culturas concomitantes, como exemplo de *Brachiaria ruziziensis* cultivada juntamente com o milho, apresenta-se como uma boa opção para regiões mais quentes, como Paraná. Contudo, é importante que, ao decidir o cultivo de uma espécie, levem-se em consideração as opções e momento do controle dessa espécie antes do cultivo de cultura sucessiva.

Considerações finais

Em uma análise geral, o controle em situações de azevém resistente ao glifosato e inibidores da ACCase e de buva resistente ao glifosato, situação comum nas lavouras do Rio Grande do Sul, terá aumento no custo entre R\$ 44,00 (R\$ 40,00 custo do graminicida para azevém + R\$ 4,00 custo do clorimurrom para buva) e R\$ 153,00 (Tabela 3). Considerando-se a área de cultivo de soja do Rio Grande do Sul como sendo de 4 milhões de hectares e que, segundo levantamento junto as cooperativas e produtores, 85% (3.4 milhões de hectares) e 80% (3.2 milhões de hectares) da área possui buva e azevém resistente ao glyphosate, respectivamente, os prejuízos advindos da resistência, com a necessidade de uso de herbicidas adicionais, estão entre R\$ 140.8 milhões e R\$ 489.6 milhões por ano, no ciclo da soja, além do impacto ambiental causado pelo maior uso de herbicidas. Adicionando-se a esses valores as perdas de rendimento, por causa da competição das plantas daninhas com as culturas, os custos da resistência tornam-se ainda mais significativos. As novas moléculas e tecnologias (culturas modificadas para resistência) aparecem como alternativa para controle de buva, contudo, para azevém e capim-amargoso não se apresentam como alternativas eficientes. Assim, o azevém e o capim-amargoso provavelmente serão as espécies de maior dificuldade de manejo no futuro.

Referências

BIANCHI, M.A.; VARGAS, L.; RIZZARDI, M.A. Manejo e controle de plantas daninhas resistentes ao glyphosate no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 26., 2008, Ouro Preto. **Palestras...** Ouro Preto: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2008. p.223-231.

CARLSON, D. R.; LOUZANO, L.; LUZZI, B.; ULBRICH.; CONTRI, D.; ISMAEL, M.; MARISCAL, F.; SANDHU, R.; SCOTT. M.; STEVENSON-PAULIK, J.; RECH, E.; ARAGÃO, F.J. Cultivance soybean production system - a new tool for soybean weed control in South America. In: ANNUAL MEETING OF THE WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 52., 2012, Hawaii. **Abstracts...** Hawaii: WSSA, 2012. p.252.

HEAP, I. **Internacional survey of herbicide resistant weeds**. Disponível em: < www.weedscience.org >. Acesso em: 16 set. 2013.

HOLT, J.S.; LEBARON, H.M. Significance and distribution of herbicide resistance. **Weed Technology**, v.4, p.141-149, 1990.