

RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS NO BRASIL: HISTÓRICO, CUSTO, E O DESAFIO DO MANEJO NO FUTURO

Vargas, Leandro^{1,2},
Agostineto, Dirceu²,
Gazziero, Dionisio¹,
Karam, Décio¹

RESUMO

A produção de grãos, principalmente de soja no Sul do Brasil, vem de lavouras que utilizam transgênicos, facilitadores do manejo de plantas daninhas, pelo uso do herbicida glifosato em larga escala. No entanto, essa prática está sob risco pelo aparecimento de azevém resistente ao glifosato, identificado pela primeira vez em 2003 no Rio Grande do Sul. Depois disso, dispersou-se rapidamente por todo o Estado e também para Santa Catarina e regiões frias do Paraná. Em 2010 e 2011, foram identificados biótipos de azevém com resistência múltipla, tanto ao glifosato como a herbicidas inibidores da enzima Acetyl-CoA Carboxylase (ACCCase) e inibidores da Acetolactato sintase (ALS). Paralelamente, em 2005, também foram identificados biótipos de buva resistentes ao glifosato. As resistências do azevém e da buva restringem o controle dessas espécies ao uso de herbicidas alternativos, que são menos eficientes, possuem maior custo e são fitotóxicos para as culturas. Dessa forma, o controle ineficiente de buva e azevém resistentes tem resultado em perdas de rendimento, em casos extremos, superiores a 45%. Em análise geral, o custo de controle por hectare aumentou em situações de resistência simples entre R\$4,00 e R\$153,00 e, em situações de resistência múltipla, entre R\$20,00 e R\$144,00. 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.

Palavras-chave: controle, evolução da resistência, mecanismos de resistência, resistência simples e múltipla

ABSTRACT

Weed Resistance in Brazil: History, Cost and Future Management

The cultivation of glyphosate-resistant soybean allows the use of glyphosate herbicide for weed management. However, this practice led to the emergence of ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) resistant to glyphosate, first identified in 2003 in the south of Brazil. In 2010 and 2011, biotypes of ryegrass, with multiple resistances to glyphosate, Acetyl-CoA carboxylase (ACCCase) inhibitors and Acetolactate synthase (ALS), were identified. Simultaneously, in 2005, glyphosate-resistant biotypes of hairy fleabane (*Conyza bonariensis*, *C. Canadensis* and *C. sumatrensis*) were also found. The resistance of ryegrass and hairy fleabane to this herbicide turns the control of these species very difficult. Alternative herbicides are generally less efficient, more expensive and may cause phytotoxicity to crops. Overall, the control cost, per hectare, increased from US\$ 2.00 to US\$ 75.00 in cases of simple resistance and, in situations of multiple resistance from US\$ 10.00 to R\$ 72.00. New molecules and technologies, such as GMOs appear to be a promising alternative for the management of hairy fleabane. These results suggest that ryegrass will be the species with the greatest difficulty of management in the future in Brazil.

Key words: control; resistance evolution, simple and multiple resistance, resistance mechanism

¹Eng.-Agr^o, Dr., Pesquisador da Embrapa.

² Eng.-Agr^o, Dr., Professor de Herbologia, Universidade Federal de Pelotas-UFPel.

INTRODUÇÃO

A seleção de espécies tolerantes e/ou resistentes iniciou no Brasil na década de 70 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 80. 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 80, 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 90, na seleção de plantas de leiteiro e picão-preto, resistentes ao imazaquin e aos demais inibidores da enzima ALS. 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, e 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*).

A resistência de azevém ao glyphosate, identificada no ano de 2003, tornou os herbicidas inibidores da ALS e da Acetyl-CoA carboxylase (ACCCase) 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 ACCCase 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 ACCCase. Até o momento não existe relatos de resistência aos três mecanismos (glyphosate, ALS e ACCCase) na mesma planta de azevém, contudo, acredita-se que isso não deve demorar a acontecer.

A resistência de buva ao glyphosate, identificada em 2005, 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 utilizado nas lavouras e as práticas de prevenção e manejo não são aplicadas. Esse tipo de atitude significa economia no primeiro momento, contudo a longo prazo, com o surgimento de espécies resistentes, resulta em controle ineficiente e aumento de custo de produção.

CUSTO DA RESISTÊNCIA

Os principais custos da resistência relacionam-se a necessidade do uso de herbicidas alternativos e as perdas de produtividade da cultura, devido à competição de plantas daninhas resistentes remanescentes na lavoura.

O custo com herbicidas alternativos é variável com a opção adotada pelo produtor, uma vez que existem, 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 herbicida, pode variar conforme o custo dos produtos em cada região.

A primeira situação (Situação 1: ausência de resistência) refere-se ao custo de controle sem a presença de plantas resistentes (Tabela 1). Nesta situação considera-se que uma aplicação de glyphosate na dessecação e uma aplicação na pós-emergência seja

suficiente 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 de controle (R\$60,00) para fins de comparação e cálculo do custo da resistência.

A situação 2 considera a presença de azevém resistente ao glyphosate e, com isso, a necessidade de uso de 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). Em algumas situações, falhas de controle devido ao 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 1). 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 2) 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 aumentando no custo com herbicida entre R\$40,00 e R\$61,00 (Tabela 1) 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 herbicida adicional para controle dessa espécie (Tabela 3). 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 herbicida com mecanismo de ação diferente (Tabela 3), aumentando o custo com o tratamento herbicida

Tabela 1. 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 <i>Lolium multiflorum</i> 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 <i>Conyza</i> spp 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	60,00
		Opção 2	glyphosate 3 L/ha Clorimurum 60 g/ha	30,00 3,00	83,00
glyphosate 3 L/ha Clorimurum 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 Clorimurum 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 Clorimurum 60 g/ha	30,00 3,00	95,00
Situação 4: presença de <i>Conyza</i> spp e <i>Lolium multiflorum</i> 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 Clorimurum 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 Clorimurum 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)

Continuación

Situação 5: presença de Conyza spp 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	glyphosate 3 L/ha Flumyzim 150 g/ha (planta aplica)	30,00 45,00	125,00
		Opção 3	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	glyphosate 3 L/ha Flumyzim 150 g/ha (planta aplica)	30,00 45,00	137,00
		Opção 3	glyphosate 3 L/ha Boral 0,6 L/ha (planta aplica)	30,00 50,00	142,00
Situação 6: presença de Lolium multiflorum resistente ao glyphosate e aos 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: presença de Conyza spp resistente glyphosate e ALS e Lolium multiflorum 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

da 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 1).

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, associados ao glyphosate, para controle dessas espécies (Tabelas 2 e 3). O custo do tratamento para dessecação aumenta, neste caso, de R\$30,00 para R\$90,00 (Tabela 1). A presença do azevém pode exercer efeito guarda-chuva ou proporcionar reinfestações necessitando-se complementar o controle com uso do

Tabela 2. Herbicidas gramínicos e não-seletivos que controlam azevém resistente e sensível ao glyphosate

Mecanismo de Ação	Grupo químico	Ingrediente Ativo	Nome Comum
HERBICIDAS GRAMINICIDAS			
Inibidores da ACCase	Ariloxifenoxi-propionatos (fop's)	Fluazifop-p	Fusilade
		Haloxyfop-r	Verdict R, Gallant
		Propaquizafop	Shogun
		Fenoxaprop	Furore, Podium
		Diclofop	Iloxan
ALS	Sulfoniluréia	Ciclohexanodionas (dim's)	Clethodim
		Sethoxydim	Poast
		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; FSI: Fotossistema I; GS: Glutamina sintetase.

Tabela 3. Herbicidas que controlam buva resistente e sensível ao glyphosate

Mecanismo de ação	Grupo químico	Ingrediente ativo	Nome comercial
CONTROLE NO INVERNO			
Inibidor da ALS	Sulfoniluréia	iodosulfuron - 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-glufosinato	Finale
Mimetizador de auxinas	Ácido ariloxialcanóico	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	sulfentrazone	Boral 500 SC
	Ftalimidas	flumioxazin	Flumizyn 500
NA PÓS-EMERGÊNCIA DA SOJA			
Inibidor da ALS	Triazolopirimidina	diclosulam	Spider 840 WG
		cloransulam	Pacto
		Sulfoniluréia	clorimuron

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

paraquat, que gera custo adicional na dessecação, resultando em custo de até R\$111,00 (Tabela 1). 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 outro lado, se ocorrer a presença de reinfestação de azevém e buva resistente, existirá a necessidade de acrescentar herbicidas alternativos ao glyphosate (Tabelas 2 e 3). 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 1).

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, 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 gramínicas restringe a possibilidade de controle dessa planta daninha aos herbicidas de contato (Tabelas 2 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 3 e 4). Assim, os prejuízos relacionados a resistência múltipla vão além do aumento do custo de controle pois haverá perdas por competição das plantas daninhas com as culturas devido ao baixo nível de controle proporcionado pelos herbicidas alternativos disponíveis.

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 adiciona-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 flumyazin e boral. O custo total do controle, nesta situação, varia entre R\$50,00 e R\$142,00 (Tabela 1). 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 adiciona-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

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

Tipo resistência/mecanismo	Mecanismo alternativo
EPSPs (glyphosate)	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.

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 1). Observa-se que os valores do custo total são maiores do que aqueles da situação 2, isso se deve as 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 para o azevém (Tabelas 2, 3 e 4). Já, para aplicação pós-emergente seletiva, os herbicidas pré-emergentes, flumioxazina, trifluralina e atrazina são as opções. O custo total do controle, nesta situação, variou entre R\$122,00 e R\$204,00 (Tabela 1). Os valores são considerados elevados e vale destacar que os tratamentos mencionados não apresentam alta eficiência de controle.

A seleção de azevém resistentes 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, devido a 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, devido ao custo relativamente baixo desses produtos (Tabela 1). O uso repetido dos herbicidas alternativos, tanto ara azevém quanto para buva, sem a observação do princípio básico de prevenção e manejo da resistência, resultou em biótipos resistentes a esses herbicidas.

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 produtividade das culturas por competição com as daninhas devido a falhas de controle. Já, nas situações de resistência múltipla os herbicidas alternativos apresentam eficiência menor e a probabilidade de ocorrer perdas por competição devido a falhas de controle é maior. Assim, nas situações de resistência simples e múltipla o aumento do custo se deve a necessidade de uso de herbicidas com mecanismos alternativos, e na resistência múltipla somam-se as possíveis perdas de produtividade.

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% da produtividade da soja e o capim amargoso em até 50%. Já, o azevém pode reduzir a produção de trigo em 70% e a nabiça em 90%.

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

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 + Sulfoniluréias	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

lançamento de novas moléculas ou tecnologia com potencial de controle eficiente dessas plantas daninhas resistentes. Em pesquisa no site da 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). Uma análise geral dessas tecnologias demonstra que elas 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.

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 à 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 ocorrerem, deve ser implantado 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 ou roçadas, ou seja, controladas de alguma forma evitando que essas plantas produzam sementes e se disseminem na área.

c) Fazer rotação de culturas.

A rotação de culturas oportuniza a utilização de 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 boa opção para regiões mais quentes como Paraná. Contudo, é importante que ao decidir o cultivo de uma espécie leve-se em consideração as opções e momento do controle dessa espécie antes do cultivo de cultura sucessiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em análise geral, o custo de controle em situações de resistência simples varia entre R\$4,00 e R\$153,00 e, em situações de resistência múltipla, entre R\$20,00 e R\$144,00. Considerando-se a área de cultivo de soja do Rio Grande do Sul como sendo de 4 milhões de hectares e a suposição de que 50% da área apresenta problemas de buva e azevém (Figura 1), os prejuízos advindos da resistência, com a necessidade

de uso de herbicidas adicionais, estão entre R\$8 milhões e R\$306 milhões por ano, além do impacto ambiental causado pelo maior uso de herbicidas. Adicionando-se a esses valores as perdas de produtividade, devido à 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.

A Embrapa (Embrapa Trigo, Embrapa Soja, e Embrapa Milho e Sorgo) juntamente com a Universidade Federal de Pelotas – UFPel, está monitorando e mapeando a dispersão das diferentes resistências. Para isso, estão sendo feitas coletas direcionadas de sementes em áreas suspeitas de resistência e enviado questionário on-line para as principais cooperativas, Emater e colaboradores, a fim de obter levantamento da área infestada, identificar novos casos e monitorar a dispersão das resistências. Essas informações são utilizadas para elaborar os mapas de dispersão (Figuras 1 a 3) e calcular os custos das resistências. Após elaboração dos respectivos mapas estão sendo enviados alertas e indicações de manejo específicas para cada região.



Figura 1. Mapa de dispersão de azevém e buva resistente ao glyphosate no Rio Grande do Sul. Embrapa Trigo, 2012

Figura 2. Mapa de dispersão de azevém resistente aos herbicidas inibidores da ACCase no Rio Grande do Sul. Embrapa Trigo, 2012

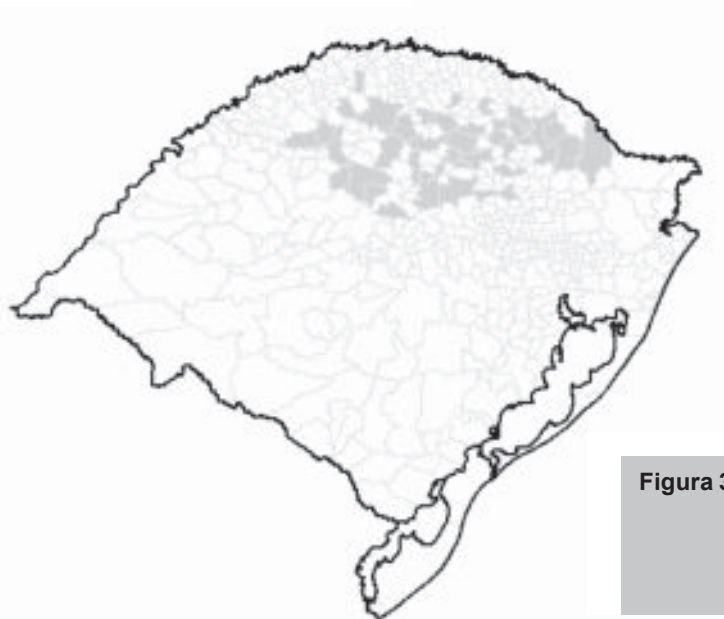


Figura 3. Mapa de dispersão de azevém resistente aos herbicidas inibidores da ALS no Rio Grande do Sul. Embrapa Trigo, 2012

LITERATURA CONSULTADA

- BIANCHI, M. A.; FLECK, N.G.; LAMEGO, F.P.** 2006. Proporção entre plantas de soja e plantas competidoras e as relações de interferência mútua. *Ciência Rural* 36(5):1380-1387.
- COUSENS, R.** 1991. Aspects of the design and interpretation of competition (interference) experiments. *Weed Technology* 5(3): 664-673.
- COUSENS, R.; O'NEILL, M.** 1993. Density dependence of replacement series experiments. *Oikos* 66(2):347-352.
- HEAP, I.** 2012. International survey of herbicide resistant weeds. Consultado 25 ene. 2012. Disponible en: www.weedscience.org.
- JASIENIUK, M.; BRÛLÉ-BABEL, A.L.; IAN, N. ; MORRISON, I.N.** 1996. The evolution and genetics of herbicide resistance in weeds. *Weed Science* 44(1):176-193.
- PAULA, J.M.; AGOSTINETTO, D.; SCHAEGLER, C.E.; VARGAS, L.; SILVA, D.R.O.** 2011. Competição de trigo com azevém em função de épocas de aplicação e doses de nitrogênio. *Planta Daninha* 29(3): 557-563.
- PAULA, J.M.; VARGAS, L.; AGOSTINETTO, D.; NOHATO M.A.** 2011. Manejo de *Conyza bonariensis* resistente ao herbicida glyphosate. *Planta Daninha* 29 (1): 217-227.
- POWLES, S.B.; YU, Q.** 2010. Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology* 61(7):317-347.
- RADOSEVICH, S.R.** 1987. Methods to study interactions among crops and weeds. *Weed Technology* 1(3):190-198.
- RIGOLI, R.P.; AGOSTINETTO, D.; SCHAEGLER, C.E.; DAL MAGRO, T.; TIRONI, S.** 2008. Habilidade competitiva de trigo (*Triticum aestivum*) em convivência com azevém (*Lolium multiflorum*) ou nabo (*Raphanus raphanistrum*). *Planta Daninha* 26(1): 93-100.
- ROMAN, E.S. VARGAS, L.; RIZZARDI, M.A.; MATTEI, R.W.** 2004. Resistência de azevém (*Lolium multiflorum*) ao herbicida glyphosate. *Planta Daninha* 22(2):301-306.
- VARGAS, L.; ROMAN, E.S.; RIZZARDI, M.A.; SILVA, V.C.** 2005. Alteração das características biológicas dos biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*) ocasionada pela resistência ao herbicida glyphosate. *Planta Daninha* 23(1):153-160.
- VARGAS, L.; MORAES, R.M.A.; BERTO, C.M.** 2007. Herança da resistência de azevém (*Lolium multiflorum*) ao glyphosate. *Planta Daninha* 25(3):567-571.