

ASSOCIAÇÃO DE HERBICIDAS INIBIDORES DE ACCASE E MIMETIZADORES DE AUXINA NO CONTROLE DE CAPIM-ARROZ, AZEVÉM E MILHÃ

Rauber, Pablo Przyczynski¹; Tasca, Vinicus Ferrari¹; Kroth, Leonardo Vicente Ellert¹; Zorzo, Geam Pedro Pesenatto²; Markus, Catarine³

Palavras-chave: Antagonismo, sinergismo, herbicidas auxínicos, misturas com graminicidas, controle de poáceas.

Introdução

As espécies de plantas daninhas pertencentes à família Poaceae possuem grande relevância nos sistemas de cultivo, especialmente na cultura do arroz irrigado. O problema associado a essas espécies tem se intensificado em razão do aumento dos casos de resistência aos herbicidas. Uma das principais alternativas para o manejo de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas é a utilização de misturas (NORSWORTHY et al., 2012).. O uso de misturas nas doses recomendadas reduz as chances de sobrevivência e reprodução de indivíduos resistentes, quando apresentam ação na mesma planta alvo (NORSWORTHY et al., 2012). Os herbicidas inibidores da enzima acetil-coenzima A carboxilase (ACCase) e mimetizadores de auxina apresentam controle de liliopsidas e magnoliopsidas, respectivamente. No entanto, alguns estudos indicam que a mistura dos herbicidas desses mecanismos de ação se mostra antagônica para gramíneas (ZHANG; HAMILL; WEAVER, 1995; BLACKSHAW et al., 2006). Contudo, não fica claro se isso ocorre para todos os herbicidas desses mecanismos de ação e se ocorrem para as diversas espécies de poáceas, o que indica a necessidade de novos estudos. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de herbicidas inibidores de ACCase isolados e em mistura com mimetizadores de auxina no controle de capim-arroz (*Echinochloa crus-galli*), azevém (*Lolium multiflorum*) e milhã (*Digitaria horizontalis*).

Material e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação climatizada ($30 \pm 5^\circ\text{C}$), do Departamento de Plantas de Lavoura, na Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em Porto Alegre/RS. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial, com cinco repetições sendo o fator A composto por 0 e 100% da dose recomendada dos herbicidas mimetizadores de auxinas e o fator B composto por oito doses de 0 a 200% da dose recomendada dos herbicidas inibidores de ACCase. A semeadura de azevém, capim-arroz e milhã foi realizada primeiramente em sementeiras de plástico individualizadas para cada espécie com substrato à base de vermiculita expandida, turfa, perlita e casca de arroz. A irrigação no período inicial de emergência foi realizada a partir de aspersão e a umidade do substrato foi mantida através de irrigação por capilaridade, com lámina de água de 1 cm. As sementeiras foram conduzidas em temperatura média de $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ e fotoperíodo 14/10 horas (dia/noite). Quando as plântulas apresentaram a primeira folha foram transplantadas para copos plásticos de 200 mL perfurados, com uma mistura contendo Argissolo Vermelho (solo) e composto orgânico (Carolina Soil®), na proporção de 6:1, além da complementação com 5 g de NPK (14-16-18) para cada 1 kg de substrato. Cada vaso conteve uma planta, que correspondeu a uma unidade experimental. A irrigação foi feita

¹ Graduando em Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. pabloprzyczynskir@gmail.com; viniciustasca210900@gmail.com; leonardovkroth@gmail.com

² Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Fitotecnia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. geamppzorzo@gmail.com

³ Professora do Departamento de Plantas de Lavoura, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. catarine.markus@ufrgs.br

por capilaridade com lâmina de água de 1 cm para azevém e milhã e 8 cm para capim arroz, durante a condução das plantas.

Quando as plantas atingiram o estádio de V3-V4 foi realizada a aplicação em câmara automatizada com volume de calda correspondente a 200 L ha⁻¹ sendo realizado curva dose-resposta de cletodim (0-96 g ha⁻¹), haloxifope-metílico (0-54 g ha⁻¹) e pinoxaden (0-100 g ha⁻¹), em mistura com 0 e 100% da dose recomendada de 2,4-D sal dimetilamina (1005 g ha⁻¹), 2,4-D sal colina (1003 g ha⁻¹), dicamba (480 g ha⁻¹), triclopir (720 g ha⁻¹), halauxifen-metil (4,4 g ha⁻¹), fluroxipir (200 g ha⁻¹) e florpirauxifen-benzil (6,0 g ha⁻¹).

A avaliação de controle visual (%) foi realizada aos 21 dias após o tratamento (DAT) e foi utilizada para estimar o ED₅₀ (dose para causar 50% de controle) e também a potência relativa (PR), que equivale ao ED₅₀ da mistura sobre o ED₅₀ do princípio ativo isolado, além de avaliação de Massa Fresca de Parte Aérea (MFPA). Os dados obtidos foram submetidos à análise de heterocedasticidade e normalidade (Shapiro-Wilk), como premissas para a análise de variância (ANOVA), a 5% de probabilidade de erro. Quando houve significância no teste F, foi realizada análise complementar de regressão pelo pacote “drc” do programa “R”(KNEZEVIC; STREIBIG; RITZ, 2009; RITZ; STREIBIG, 2005). Os dados foram ajustados pelo modelo não linear log-logístico de quatro parâmetros, fórmula: $y = (y_0+a)^*((x/x_0)^b)/(1+(x/x_0)^b)$. Onde, “c” e “d” são as assíntotas de mínima e máxima resposta da curva, “b” é a inclinação da curva, e “e” é o ED₅₀.

Resultados e Discussão

Em capim-arroz o ED₅₀ das misturas de cletodim + 2,4-D-dimetilamina; 2,4-D sal colina; dicamba; florpirauxifen-benzil; fluroxipir; halauxifen-metil ou triclopir-butotílico foi de 4,3; 4,3; 2,1; 0,8; 0,01; 4,2 e 0,1, respectivamente, e foi estatisticamente menor que o ED₅₀ de cletodim isolado (6,9) (Tabela 1). As misturas de haloxifope-metílico + 2,4-D-dimetilamina; 2,4-D sal colina; florpirauxifen-benzil; fluroxipir; halauxifen-metil e triclopir-butotílico apresentaram ED₅₀ de 0,5; 1,3; 0,1; 0,3; 1,6 e 0,06, respectivamente, menor que o ED₅₀ de haloxifope-metílico isolado (3,9) (Tabela 1). Já a mistura com dicamba apresentou ED₅₀ maior (5,6) que o isolado (3,9). O ED₅₀ das misturas de pinoxaden + 2,4-D-dimetilamina; 2,4-D sal colina; dicamba; florpirauxifen-benzil; fluroxipir; halauxifen-metil ou triclopir-butotílico foi de 7,0; 4,9; 6,1; 1,8; 5,2; 3,4 e 0,3, respectivamente, e foram estatisticamente menores que o ED₅₀ de pinoxaden isolado (14,7) (Tabela 1).

Em azevém, o ED₅₀ das misturas de cletodim + florpirauxifen-benzil; fluroxipir; halauxifen-metil ou triclopir-butotílico foi de 1,7; 1,6; 1,0 e 2,5, respectivamente, e foi estatisticamente menor que o ED₅₀ de cletodim isolado (4,8) (Tabela 1). Já as misturas com dicamba ou 2,4-D dimetilamina não apresentaram diferença estatística (4,8 e 6,3, respectivamente). Na mistura com 2,4-D sal colina, o ED₅₀ foi estatisticamente maior (8,5) que cletodim isolado. As misturas de haloxifope-metílico + florpirauxifen-benzil; fluroxipir ou halauxifen-metil foi de 0,4; 5,7 e 0,8, respectivamente e foi estatisticamente menor que o ED₅₀ de haloxifope-metílico isolado (8,3) (Tabela 1). Já na mistura com triclopir-butotílico não houve diferença estatística (14,3) em relação ao graminicida isolado. Por outro lado, as misturas de haloxifope-metílico + 2,4-D-dimetilamina; 2,4-D sal colina e dicamba (19,4; 21,4 e 20,4, respectivamente) foram estatisticamente maiores que o ED₅₀ de haloxifope-metílico isolado. Por fim, em pinoxaden, o ED₅₀ das misturas com 2,4-D sal colina; fluroxipir ou triclopir-butotílico (4,6; 2,5 e 3,7, respectivamente) foi estatisticamente menor que o ED₅₀ de pinoxaden isolado (6,2). Já nas misturas com dicamba ou florpirauxifen-benzil não houve diferença estatística do ED₅₀ (5,0 e 5,3, respectivamente). Por outro lado, as misturas de pinoxaden + 2,4-D-dimetilamina ou halauxifen-metil (7,7 e 8,7, respectivamente) foram estatisticamente maiores que o ED₅₀ de pinoxaden isolado (Tabela 1).

Em milhã, o ED₅₀ da mistura de cletodim + florpirauxifen-benzil (7,9) não mostrou diferença estatística quando comparado ao cletodim isolado (7,1). Na mistura com os herbicidas auxínicos 2,4-D dimetilamina; 2-4-D sal colina; fluroxipir ou triclopir-butotílico o ED₅₀ (0,5; 3,5; 2,7 e 1,6, respectivamente) foi menor em comparação ao cletodim isolado. Por outro lado, as misturas de cletodim + dicamba ou halauxifen-metil (8,6 e 11,8, respectivamente) apresentaram ED₅₀ estatisticamente maior quando comparado ao cletodim isolado. Nas misturas com

haloxifope, os princípios ativos 2,4-D dimetilamina; dicamba; florpirauxifen-benzil; fluroxipir e triclopir-butotílico apresentaram ED₅₀ (0,2; 0,4; 0,4; 0,01 e 0,8, respectivamente) estatisticamente menor que haloxifope-metílico isolado (1,6). Já as misturas de haloxifope-metílico com 2,4-D sal colina e halauxifen-metil (4,0 e 16,1, respectivamente) foram estatisticamente maiores que o ED₅₀ de haloxifope-metílico isolado. Por fim, em pinoxaden, o ED₅₀ das misturas com 2,4-D dimetilamina, 2,4-D sal colina, dicamba, florpirauxifen-benzil, fluroxipir e triclopir-butotílico (17,9; 7,7; 1,0; 12,4; 0,8 e 2,0) mostraram ser estatisticamente menor quando comparado a pinoxaden isolado (25,1). Já a mistura de pinoxaden com halauxifen-metil (40,6) foi estatisticamente maior que o ED₅₀ de pinoxaden isolado.

Tabela 1. Parâmetros da equação log-logística de quatro parâmetros da variável controle (%) aos 21 DAT para os herbicidas inibidores da ACCase isolados e em mistura com os mimetizadores de auxina nas diferentes espécies.

Herbicidas	Capim arroz					Azevém					Milhã				
	b	c	d	ED ₅₀	PR	b	c	d	ED ₅₀	PR	b	c	d	ED ₅₀	PR
cletodim	- 6,63	5,04	99,57	6,94		- 1,63	0,07	100,57	4,81		- 6,33	4,04	100,13	7,08	
cletodim + 2,4-D dimetilamina	- 0,81	0,88	115,10	4,25	0,61 *	- 42,87	5,28	99,67	6,28	1,31 ns	- 0,49	- 0,39	109,58	0,50	0,07 *
cletodim + 2,4-D sal colina	- 0,90	1,03	112,55	4,32	0,62 *	- 5,42	2,24	100,09	8,45	1,76 *	- 2,17	5,06	101,99	3,53	0,50 *
cletodim + dicamba	- 1,19	0,73	105,41	2,09	0,30 *	- 2,90	6,42	101,41	4,79	1,00 ns	- 6,28	17,53	100,13	8,59	1,21 *
cletodim + florpirauxifen-benzil	- 2,11	- 0,06	100,27	0,79	0,11 *	- 2,01	4,34	102,42	1,70	0,35 *	- 3,08	1,20	101,17	7,88	1,11 ns
cletodim + fluroxipir	- 0,45	- 0,08	102,80	0,01	0,00 *	- 53,09	0,06	96,04	1,57	0,33 *	- 2,27	3,49	102,38	2,72	0,38 *
cletodim + halauxifen-metil	- 0,75	0,67	116,25	4,16	0,60 *	- 1,13	0,43	103,17	0,98	0,20 *	- 3,00	3,58	103,16	11,76	1,66 *
cletodim + triclopir-butotílico	- 0,74	- 0,05	101,54	0,13	0,02 *	- 4,12	7,14	98,43	2,47	0,51 *	- 24,83	- 0,70	100,00	1,62	0,23 *
haloxifope-metílico	- 7,70	10,13	100,33	3,91		- 8,10	11,20	100,17	8,31		- 30,96	- 0,01	98,80	1,62	
haloxifope + 2,4-D dimetilamina	- 0,24	0,01	136,11	0,51	0,13 *	- 4,12	0,66	97,55	19,36	2,33 *	- 0,53	0,01	105,91	0,17	0,10 *
haloxifope + 2,4-D sal colina	- 1,61	1,57	102,68	1,28	0,33 *	- 4,12	9,45	102,24	21,44	2,58 *	- 1,63	- 1,50	97,95	4,03	2,49 *
haloxifope + dicamba	- 1,61	3,49	107,43	5,57	1,42 *	- 2,94	- 0,72	105,48	20,40	2,45 *	- 0,99	0,11	102,73	0,37	0,23 *
haloxifope + florpirauxifen-benzil	- 1,02	0,01	100,69	0,11	0,03 *	- 3,13	- 0,00	99,50	0,47	0,06 *	- 1,91	- 0,15	99,88	0,37	0,23 *
haloxifope + fluroxipir	- 1,92	- 0,04	100,42	0,26	0,07 *	- 7,61	8,78	97,79	5,72	0,69 *	- 0,50	- 0,07	102,84	0,01	0,01 *
haloxifope + halauxifen-metil	- 1,62	1,88	102,45	1,57	0,40 *	- 19,32	- 0,00	96,96	0,79	0,09 *	- 4,06	4,06	102,27	16,14	9,99 *
haloxifope + triclopir-butotílico	- 0,48	- 0,01	105,15	0,06	0,02 *	- 24,96	- 0,03	99,50	14,39	1,73 ns	- 45,50	0,01	99,33	0,82	0,51 *
pinoxaden	- 5,73	7,73	101,34	14,73		- 14,09	0,01	96,40	6,25		- 6,42	2,98	100,72	25,10	
pinoxaden + 2,4-D dimetilamina	- 1,27	0,03	105,91	7,03	0,48 *	- 5,05	10,61	100,09	7,68	1,23 *	- 2,65	- 1,04	96,99	17,86	0,71 *
pinoxaden + 2,4-D sal colina	- 0,82	0,70	113,56	4,91	0,33 *	- 1,94	1,97	101,15	4,60	0,74 *	- 1,52	- 0,14	105,01	7,69	0,31 *
pinoxaden + dicamba	- 1,21	0,50	107,52	6,15	0,42 *	- 1,06	0,47	107,23	4,99	0,80 ns	- 1,07	- 0,05	100,25	1,02	0,04 *
pinoxaden + florpirauxifen-benzil	- 2,67	- 0,02	100,35	1,83	0,12 *	- 1,92	1,29	103,06	5,30	0,85 ns	- 3,33	1,49	102,38	12,39	0,49 *
pinoxaden + fluroxipir	- 37,50	7,54	100,00	5,20	0,35 *	- 1,10	0,16	103,72	2,56	0,41 *	- 1,68	- 0,08	100,19	0,82	0,03 *
pinoxaden + halauxifen-metil	- 2,14	0,84	102,16	3,37	0,23 *	- 8,41	16,95	100,89	8,72	1,40 *	- 9,53	0,03	100,16	40,56	1,62 *
pinoxaden + triclopir-butotílico	- 0,85	- 0,01	101,36	0,26	0,02 *	- 0,73	0,63	114,56	3,73	0,60 *	- 3,99	- 0,04	100,26	2,00	0,08 *

Tabela 2: Resultados das interações das misturas nas diferentes espécies, com base na potência relativa (PR).

Herbicidas	Capim arroz			Azevém			Milhã		
	cletodim	haloxifope	pinoxaden	cletodim	haloxifope	pinoxaden	cletodim	haloxifope	pinoxaden
2,4-D dimetilamina	sinergismo	sinergismo	sinergismo	aditivo	antagonismo	antagonismo	sinergismo	sinergismo	sinergismo
2,4-D sal colina	sinergismo	sinergismo	sinergismo	antagonismo	antagonismo	sinergismo	sinergismo	antagonismo	sinergismo
dicamba	sinergismo	antagonismo	sinergismo	aditivo	antagonismo	aditivo	antagonismo	sinergismo	sinergismo
florpirauxifen-benzil	sinergismo	sinergismo	sinergismo	sinergismo	sinergismo	aditivo	aditivo	sinergismo	sinergismo
fluroxipir	sinergismo	sinergismo	sinergismo	sinergismo	sinergismo	sinergismo	sinergismo	sinergismo	sinergismo
halauxifen-metil + diclosulam	sinergismo	sinergismo	sinergismo	sinergismo	sinergismo	sinergismo	antagonismo	antagonismo	antagonismo
triclopir-butotílico	sinergismo	sinergismo	sinergismo	sinergismo	aditivo	sinergismo	sinergismo	sinergismo	sinergismo



Figura 1. **A)** Haloxifope-metílico isolado nas doses de 0; 0,84; 1,68; 3,38; 6,75; 13,5; 27; e 54 g ha⁻¹, da esquerda para a direita, respectivamente, em capim arroz; **B)** Haloxifope-metílico nas doses de 0; 0,84; 1,68; 3,38; 6,75; 13,5; 27; e 54 g ha⁻¹, da esquerda para a direita, respectivamente + dicamba na dose de 480 g ha⁻¹, em capim arroz; **C)** Curva dose-resposta da interação haloxifope-metílico com os auxínicos em capim arroz.

Nas misturas testadas em que o ED₅₀ foi estatisticamente maior que o isolado é possível afirmar que houve antagonismo quando da adição do auxínico, dificultando assim o controle das poáceas, esta avaliação foi feita através da análise da PR. Se o PR mostrou-se maior que 1 e estatisticamente significativo foi considerada a existência de antagonismo, quando o PR foi menor que 1, foi considerado efeito sinérgico quando o PR não foi significativo, efeito aditivo (Tabela 2). Assim, em capim-arroz foi observado um único antagonismo na mistura de haloxifope-metílico + dicamba (Figura 1). Já em azevém foram observados seis antagonismos correspondendo as misturas de cletodim + 2,4-D sal colina, haloxifope-metílico + 2,4-D dimetilamina, 2,4-D sal colina ou dicamba e pinoxaden + 2,4-D dimetilamina ou halauxifen-metil. Por fim, em milhã foram observados cinco antagonismos correspondentes às misturas de cletodim + dicamba ou halauxifen-metil, tendo também haloxifope-metílico + 2,4-D sal colina ou halauxifen-metil e por fim pinoxaden em associação com halauxifen-metil (Tabela 2). Diferentemente do esperado, esses resultados indicam que as interações entre os herbicidas inibidores da ACCase e em mistura com os mimetizadores de auxina mostrou predomínio de sinergismo, principalmente para a espécie capim-arroz. Esses resultados podem indicar que a ausência de efeito de mimetizadores de auxina em gramíneas pode estar subestimada. No entanto, fica evidente que o efeito de interação depende da espécie e da combinação de herbicidas utilizados (Tabela 2). De forma a entender melhor esses efeitos, esse experimento será repetido utilizando o método de Colby.

Conclusões

Este trabalho mostrou que a eficácia das misturas de herbicidas inibidores da ACCase com mimetizadores de auxina depende significativamente da espécie de planta daninha e da combinação específica de ingredientes ativos. De modo geral, foi observado predomínio de efeitos sinérgicos, principalmente na espécie *E. crus-galli*. Esse resultado é diferente da hipótese inicial do trabalho, visto que a ação dos mimetizadores de auxina é considerada baixa ou inexistente sobre gramíneas. Por outro lado, foram identificadas interações antagônicas que comprometeram o controle de algumas das espécies, como identificado em *L. multiflorum* onde verificou-se antagonismo das misturas cletodim + 2,4-D sal colina e haloxifope-metílico + 2,4-D dimetilamina, 2,4-D sal colina ou dicamba, e pinoxaden + 2,4-D dimetilamina ou halauxifen-metil. Para *D. horizontalis* antagonismo nas misturas cletodim + dicamba ou halauxifen-metil, e haloxifope-metílico + halauxifen-metil ou 2,4-D sal colina e pinoxaden + halauxifen-metil. Em menor intensidade, também foi observado antagonismo em capim-arroz na mistura de haloxifope-metílico + dicamba.

Referências

- MEYER, C.J., PETER, F., NORSWORTHY, J. and BEFFA, R. Uptake, translocation, and metabolism of glyphosate, glufosinate, and dicamba mixtures in *Echinochloa crus-galli* and *Amaranthus palmeri*. **Pest Management Science**, v. 76, n. 9, p. 3078-3087, 2020.
- NORSWORTHY, J. K. et al. Reducing the risks of herbicide resistance: Best management practices and recommendations. **Weed science**, v. 60, n. 1, p. 31–62, 2012.
- SORENSEN, H. et al. An isobole-based statistical model and test for synergism/antagonism in binary mixture toxicity experiments. **Environmental and Ecological Statistics**, v. 14, n. 4, p. 383–397, 2007.
- BLACKSHAW, R. E. et al. Broadleaf Herbicide Effects on Clethodim and Quizalofop-P Efficacy on Volunteer Wheat (*Triticum aestivum*). **Weed Technology**, v. 20, n. 1, p. 221–226, 2006.
- ZHANG, J.; HAMILL, A. S.; WEAVER, S. E. Antagonism and Synergism Between Herbicides: Trends from Previous Studies. **Weed Technology**, v. 9, n. 1, p. 86–90, 1995.