

CAPÍTULO 11

MISTURAS DE HERBICIDAS: IMPORTÂNCIA E IMPACTO NA AGRICULTURA

Leandro Tropaldi³⁷

Leandro Bianchi³⁸

Roque de Carvalho Dias³⁹

Ilca Puertas de Freitas e Silva⁴⁰

³⁷ Prof^o Dr. da Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Dracena. E-mail: l.tropaldi@unesp.br

³⁸ Me e doutorando pela Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. E-mail: leandro_bianchii@hotmail.com

³⁹ Me e doutorando pela Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. E-mail: roquediasagro@gmail.com

⁴⁰ Pós-doutoranda da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul (UEMS), Cassilândia. E-mail: ilca_pfs@yahoo.com.br

RESUMO

O uso de dois ou mais herbicidas em uma aplicação é uma prática amplamente utilizada na agricultura. No entanto, no Brasil, só em 2018 que a prescrição de misturas de tanque foi regulamentada. Quando se mistura diferentes herbicidas, os mesmos podem interagir entre si, resultando em respostas aditivas, antagonísticas ou sinérgicas. Contudo, esses efeitos muitas vezes dependem de diversos fatores, como as propriedades das moléculas utilizadas, tipo e estágio da espécie-alvo, por exemplo. Como as interações são complexas, a correta escolha dos produtos e das condições de aplicação é fundamental para o alcance dos benefícios potenciais de uma determinada mistura. Desse modo, esse capítulo tem por finalidade destacar os principais aspectos da interação entre as misturas e discutir a importância e as limitações que essa prática pode proporcionar à agricultura.

PALAVRAS-CHAVE: Antagonismos, Sinergismo, Plantas daninhas.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de dois ou mais herbicidas simultaneamente, tanto utilizando misturas formuladas como misturando-se diferentes produtos antes da aplicação (mistura de tanque) é uma abordagem comum na agricultura a bastante tempo (DAMALAS, 2004). Conforme levantamento realizado por Gazziero (2015), cerca de 97% dos produtores utilizaram mistura em tanque em soja RR. Também foi destacado que apenas 14% do controle de plantas daninhas na pós-emergência é realizado com o glyphosate isolado, sendo o restante aplicado em combinação com outro defensivo ou outro herbicida (GAZZIERO, 2015).

No Brasil, até pouco tempo, somente as formulações prontas de misturas de herbicidas poderiam ser recomendadas para o manejo de plantas daninhas. Algumas delas, disponíveis no mercado a bastante tempo, como é o caso de 2,4-D + picloram, amicarbazone + tebuthiuron, diuron + hexazinone, diuron + sulfentrazone, glyphosate + imazetapyr, glyphosate + 2,4-D, formulações comerciais consolidadas em algumas culturas como importante ferramenta de manejo de plantas daninhas (BRASIL, 2019).

No entanto, mais recentemente, por meio da Instrução Normativa nº40, de 11 de outubro de 2018 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA a mistura de tanque foi regularizada, autorizando que os engenheiros agrônomos possam receitar a aplicação combinada de defensivos agrícolas (BRASIL, 2018). Portanto, com a regulação regularização da prática de mistura de tanque, passando a ser de responsabilidade dos engenheiros agrônomos é fundamental discutir e esclarecer os principais aspectos relacionados as vantagens e limitações de seu uso na agricultura.

Tendo em vista, que quando os herbicidas são misturados interações de vários tipos e mecanismos podem ocorrer, de tal modo que a resposta dos mesmos pode ser amplamente influenciada. Assim, esse capítulo de livro tem por finalidade destacar os principais aspectos das interações entre as misturas, além de discutir a importância e as limitações que essa prática pode proporcionar à agricultura.

2 INTERAÇÕES ENTRE AS MISTURAS

Quando misturados, os herbicidas interagem entre si, resultando em três tipos de efeitos: aditivas, antagônicas e as sinérgicas.

O efeito aditivo é quando o efeito dos herbicidas em mistura é igual a soma dos seus efeitos quando aplicados separadamente, portanto, não há alteração na eficácia dos produtos misturas.

A antagônica é definida como a interação negativa entre a mistura, ou seja, a associação de herbicidas causa menor efeito tóxico nas plantas se comparado ao efeito do herbicida isolado (CALABRESE, 1991). O antagonismo em mistura de tanque acontece quando uma reação adversa ocorre entre os herbicidas na solução, sendo o antagonismo químico, por exemplo entre o paraquat e o MCPA dimetilamina, principalmente quando a formulação éster do MCPA é usada.

Enquanto que a interação sinérgica é a oposta da antagônica, apresentando maior toxicidade às plantas em mistura se comparada a

herbicidas aplicados de forma isolada (CALABRESE, 1991). Esse efeito, muitas vezes ocorre quando são misturados dois herbicidas que apresentam diferentes mecanismos de ação, nos quais pode haver uma ação de complementaridade entre os mesmos, com um facilitando a ação do outro.

Em geral, os efeitos sinérgicos, aditivos e antagônicos podem ser diferentes entre as espécies vegetais. Do ponto de vista prático, seria ideal que a mistura apresentasse efeitos antagônicos para a cultura e sinérgicos para as plantas daninhas.

2.1 FATORES QUE AFETAM AS INTERAÇÕES COM HERBICIDAS

A interação de diferentes moléculas na calda de herbicida é complexa e pode acontecer tanto após a aplicação como antes, assim como fora ou dentro da planta (FIGUEIREDO, 2015). Assim, os mecanismos de interação nas misturas de herbicidas podem interagir fisicamente ou quimicamente na solução de pulverização (calda) ou biologicamente na planta (DAMALAS, 2004). Nesse sentido, Damalas (2004) atribuiu as interações entre herbicidas em misturas da seguinte forma:

- Reações químicas entre os herbicidas combinados que levam à formação de complexo inativo ou no aumento da taxa de metabolismo;
- Mudanças na quantidade de um herbicida que atinge seu local de ação através da absorção, translocação ou metabolismo diferencial causada pela presença do outro herbicida;
- Interação entre herbicidas que produzem efeitos opostos ou sinérgicos no mesmo processo fisiológico da planta;

Desse modo, o tipo e os mecanismos de interações dependem das propriedades dos herbicidas, absorção, translocação, metabolismo, mecanismo de ação e tipo e estágio da espécie-alvo (DAMALAS, 2004).

Propriedades do herbicida: Damalas (2004) observou que misturas em que os herbicidas associados pertencem ao mesmo grupo químico, frequentemente resultam em efeito sinérgico, ao passo que aquelas oriundas de herbicidas de diferentes grupos químicos, o antagonismo é mais comum. O autor também discute, que moléculas similares, podem apresentar mecanismos de ação e rota metabólicas semelhantes, potencializando sua resposta. Da mesma forma, que moléculas diferentes apresentam mais chance de interagir no local de ação (enzima ou processo fisiológico) ou reagir quimicamente, formando complexo inativo (DAMALAS, 2004).

Movimento e metabolismo na planta: O ponto de entrada e a mobilidade dos herbicidas na planta pode afetar consideravelmente a resposta da mistura. Quando as moléculas apresentam o mesmo ponto de entrada, uma molécula poderá reduzir a quantidade absorvida ou translocada do outro e, conseqüentemente reduzir sua eficácia. Aplicação de lactofen + glyphosate em doses usualmente utilizadas a campo resultou em efeito antagônico, os autores destacaram que o herbicida de contato prejudicou a movimentação do glyphosate que é sistêmico (WELLS; APPLEBY; 1992).

A quantidade translocada também pode ser influenciada pela presença e/ou translocação concomitante de outro herbicida na planta (DAMALAS, 2004). Misturas de fomesafen com glyphosate foram antagônicas no controle de capim-arroz (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv.), corda-de-viola (*Ipomoea lacunosa* L.) e folha-de-veludo (*Abutilon theophrasti* (L.) Rusby), reduzindo a absorção e translocação de glyphosate, assim como sulfentrazone em mistura no tanque com glyphosate proporcionou efeito antagônico no controle de capim-arroz (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv.), caruru-palmeri (*Amaranthus palmeri* L.), capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica* (L.) Gaertn.) e jeticuçu (*Ipomoea hederacea* var. *integriuscula* A. Gray) (STARKE; OLIVER, 1998).

Às vezes, interações antagônicas também podem ser atribuídas ao aumento do metabolismo de um herbicida por causa da presença de outro. Por exemplo, Shimabukuro et al. (1986) observou que uma menor eficácia do diclofop em várias espécies após aplicação com herbicidas hormonais, como o

2,4-D resultou em um aumento no seu metabolismo (formação de complexo no grupo carboxílico) devido à presença de 24-D.

Espécies-alvo: A espécie e seu estágio de desenvolvimento pode influenciar o tipo e a intensidade da interação. Uma terminada mistura pode aumentar a eficácia de controle de uma espécie, mas poderá reduzir de outra. Por exemplo, a combinação de herbicidas que inibem a acetolactato sintase (ALS) (por exemplo, imazaquin, chlorimuron) com herbicidas do grupo éter difenílico (por exemplo, acifluorfen, fomesafen) apresentaram aumento de eficácia em guaxuma-de-espinho (*Sida spinosa* L.), mas reduziu a eficácia em carrapichão (*Xanthium strumarium* L.) (WESLEY; SHAW, 1992).

Do mesmo modo, o estágio de crescimento das plantas pode frequentemente afetar as interações dos herbicidas misturados. Leibl e Worsham (1987) observou que a aplicação pós-emergente de chlorsulfuron e diclofop diminuiu a eficácia de diclofop no *Lolium multiflorum*, e o efeito foi mais grave quando aplicado no estágio de crescimento de três folhas do que no crescimento de duas folhas. Isso pode ser atribuído à redução da desintoxicação a capacidade das plantas mais jovens e também para as mais finas cutícula que provavelmente permitiu retenção, absorção e translocação de maiores quantidades de herbicidas aplicados, conforme discutido por Damalas (2004).

2.2 DETERMINAÇÃO DAS INTERAÇÕES DE MISTURA DE HERBICIDAS

Em geral, todas essas interações podem ser avaliadas de várias formas. Um dos métodos mais utilizados para verificar o tipo de interação entre a mistura é o proposto por Colby (1967), que consiste em um valor observado proveniente da avaliação de controle da mistura e um valor estimado oriundo da avaliação de controle dos herbicidas aplicados isoladamente, como demonstrado na equação 1.

$$E = \frac{100 - (100 - x) * (100 - y)}{100}$$

tendo como, *E* a porcentagem de controle esperada pela mistura, *x* e *y* as porcentagem de controle obtidas a partir da aplicação isolada dos herbicidas. Entretanto essa metodologia não considera a variação do acaso, ou seja, não possuem um teste estático demonstrando se os valores esperados são significativos em relação aos observados (NASH, 1981).

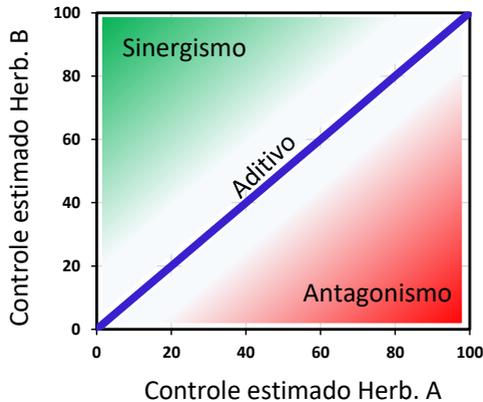
Alternativamente, um dos métodos mais empregados para avaliação de interação são os isoblograma. Utilizados inicialmente na farmacologia, nesse método é gerado uma isobole aditiva (linha de aditividade) a partir do I_{50} (50% de controle ou 50% de redução da massa da planta) provenientes da aplicação isolada de herbicidas. Os I_{50} obtidos da mistura dos herbicidas são analisados em relação a isobole de aditividade. Para avaliação de massa, quando os pontos se encontram acima da isobole de aditividade a interação é antagonônica, quando se encontram abaixo são sinérgicas e quando se posicionam em torno da isobole são aditivas. Isso se inverte quando é analisado controle. Kruse et al. (2006) observaram efeito sinérgico na associação de metribuzin + clomazone para redução da massa seca de girassol.

Outras vezes, outra metodologia também usada para expressão do tipo de interação entre a associação de herbicidas é realizar análise de variância e teste de comparação de médias entre os dados observados e os dados estimados a partir do modelo de Colby, como relatado por Barroso et al. (2014) na mistura de diferentes tipos de sais de glyphosate com três tipos de herbicidas inibidores da ACCase.

Além dessas metodologias, os tipos de interações também podem ser representados graficamente comparando-se a resposta observada com a estimada (Figura 1) (BIANCHI, 2018). Quando a resposta observada estiver situada próxima ao controle estimado (representado pela reta azul), a mesma situa-se na região de aditividade; por outro lado, a região acima da reta retrata

a resposta observada maior que a estimada (efeito sinérgico), ao passo que a região abaixo da reta representa a resposta observada menor que a estimada (efeito antagônico).

Figura 1 – Representação das interações em misturas de herbicidas.



Fonte: Adaptado BIANCHI (2018).

3 IMPORTÂNCIA DA MISTURA DE HERBICIDAS

Associar herbicidas em caldas de pulverização é uma prática muito comum na agricultura, pois reúne algumas vantagens quando comparada com o uso isolado de um único herbicida na aplicação. A seguir, serão discutidos os principais aspectos que comumente são levantados como vantagens do uso de misturas de herbicidas.

3.1 REDUÇÃO DE CUSTOS

Um dos grandes desafios nos sistemas produtivos são os altos custos de produção que compromete muitas vezes a lucratividade da atividade. A exemplo, de acordo com a CONAB (2019) para produzir soja em plantio direto no Estado do Mato Grosso na safra 2018/2019, o custo de aplicação de defensivos foi de R\$ 850,30 por hectare, o que corresponde a 27% do custo total de uma lavoura. Assim, essa operação representa uma fatia considerável nos custos totais, portanto, utilizar uma mesma operação para aplicar dois ou mais princípios ativos tem um impacto direto nos custos totais.

Além de redução no custo de produção que aplicação de misturas de herbicidas pode proporcionar, economizando tempo e mão-de-obra, uma vez que com o aumento de eficácia no manejo de plantas daninhas, pode contribuir para evitar algumas aplicações durante o ciclo da cultura, diminuindo os custos operacionais, reduzindo o tráfego de máquinas, provocando menor compactação do solo, além de auxiliar no manejo de plantas daninhas resistentes e na prevenção para o aparecimento de novos casos de resistência (GIMARÃES, 2014).

3.2 MENOR TEMPO DE EXPOSIÇÃO AOS PRODUTOS

Por diminuir o número de aplicações em uma área, o aplicador reduz seu tempo de exposição aos defensivos, contribuindo para que minimizem as chances de acidentes devido ao manuseio de produtos fitossanitários, os quais podem entrar em contato direto por via oral, nasal ou dérmica, ressaltando a necessidade do uso correto dos equipamentos de proteção individual (EPIs). Do mesmo modo, exposições indiretas também são minimizadas, ou seja, as pessoas que não estão aplicando ou manuseando o produto, mas que acabam sendo expostas ao entrar em contato com plantas, alimentos ou qualquer instrumento que esteja contaminado.

3.3 MELHOR CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS

Em geral, as infestações de plantas daninhas são compostas por uma grande diversidade de espécies, portanto nem sempre o uso de apenas um único princípio ativo é suficiente para o alcance do nível de controle desejado para todas as espécies presentes na área. Muitas vezes, um determinado herbicida que apresenta baixa eficácia de controle para uma determinada espécie, poderá ser altamente eficaz para outras. Assim, com a associação de mais de um herbicida contribui para o aumento do espectro de controle da aplicação na área alvo.

Além disso, em algumas espécies, alguns herbicidas quando misturados interagem entre si e resultam em efeitos superiores quando aplicados isoladamente, ou seja, apresentam o efeito sinérgico discutido anteriormente. Esse efeito tem sido frequentemente relatado por um maior controle quando aplicado a mistura, se comparado com as aplicações isoladas, conforme pode ser observado para algumas misturas em algumas (Quadro 1).

Quadro 1 – Misturas de herbicidas que resultarem em efeito sinérgico em diferentes espécies-alvo.

misturas	Espécie alvo	Autores
glyphosate + carfentrazone	<i>Ipomoea hederifolia</i> L. <i>Crotalaria</i> spp. <i>Digitaria horizontalis</i>	Agostineto et al., 2016 Inoue et al., 2012 Werlang e Silva, 2002
glyphosate + saflufenacil	<i>Ipomoea hederifolia</i> L. <i>Crotalaria</i> spp.	Agostineto et al., 2016 Inoue et al., 2012
glyphosate + clhrorimuron	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.Beauv.	Jordan et al., 1997
glyphosate + lactofen	<i>Malva parviflora</i> L.	Wells e Appleby, 1992
glyphosate + oxyfluorfen	<i>Cyperus esculentus</i> L.	Pereira; Crabtree, 1986
glyphosate + lactofen	<i>Malva parviflora</i> L.	Wells e Appleby, 1992
metribuzin + clomazone	<i>Bidens pilosa</i> L.	Kruse 2002
mesotrione + ametrina	<i>Urochloa decumbens</i> (Stapf) R.D.Webster	Carvalho et al. 2010
	<i>Urochloa plantaginea</i> (Link) R.D.Webster	Carvalho et al. 2010
	<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	Carvalho et al. 2010 Carvalho et al. 2010
	<i>Panicum maximum</i> Jacq.	Carvalho et al. 2010
	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Carvalho et al. 2010
	<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth <i>Sida glaziovii</i> K. Schum.	Carvalho et al. 2010
mesotrione + metribuzin	<i>Urochloa plantaginea</i> (Link) R.D.Webster	Carvalho et al. 2010
	<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	Carvalho et al. 2010 Carvalho et al. 2010
	<i>Panicum maximum</i> Jacq.	Carvalho et al. 2010
	<i>Bidens pilosa</i> L.	Carvalho et al. 2010
	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Carvalho et al. 2010
	<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth <i>Sida glaziovii</i> K. Schum.	Carvalho et al. 2010

3.4 REDUÇÃO DA DOSE DO HERBICIDA

Alguns herbicidas quando misturados, resultam em interações que podem potencializar o controle de plantas daninhas e, algumas vezes aumentar a eficácia de controle em doses menores do que as recomendadas por bula. Atualmente, ocorre uma pressão intensa no agronegócio para a redução de defensivos agrícolas. Temas abordando a diminuição de herbicidas, inseticidas e fungicidas são recorrentes (POPP et al., 2013; LECHENET et al., 2017). Avanços tecnológicos são alvo para aumentar o controle de plantas daninhas de uma forma mais racional e sustentável, o uso de herbicidas em baixas doses se encaixa entre estes aspectos (SHANER; BECKIE, 2013).

Na literatura, o relato de maior controle de plantas daninhas quando realizada a mistura de herbicidas é relativamente frequente, como por exemplo a mistura de metribuzin + clomazone em picão-preto (*Bidens pilosa* L.) (KRUSE, 2002), glyphosate + carfentrazone em corda-de-viola (*Ipomoea hederifolia* L.) (AGOSTINETO et al., 2016) e mesotrione + ametrina em algumas plantas daninhas mono e eudicotiledôneas (CARVALHO et al., 2010).

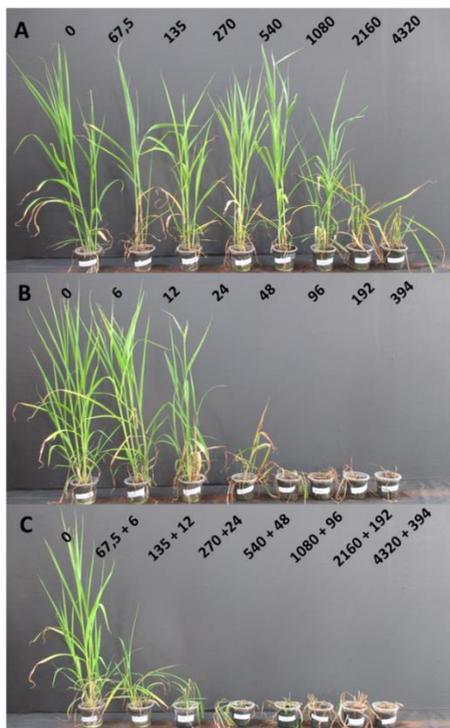
Entretanto, ainda são poucos os trabalhos que demonstraram o controle de plantas daninhas com baixas doses de herbicidas em mistura. O uso de glyphosate + clethodim em doses menores a recomendada pela bula, foi efetivo no controle de capim-amargoso resistente ao glyphosate em estádios iniciais quando comparado ao uso isolado dos mesmos (Figura 1) (BIANCHI, 2018).

Também já foi relatado que a mistura de pequenas doses de lactofen com glyphosate age sinergisticamente no controle de *Malva parviflora* L., porém misturas de maiores doses de lactofen provocam efeito antagônico, aparentemente pela destruição da membrana plasmática, o que ocasiona menor absorção de glyphosate (WELLS; APPLEBY, 1992).

Associado a redução de doses, a utilização de misturas em doses mínimas indicadas pela bula merece atenção especial, uma vez que em alguns casos o controle de plantas daninhas pode ser efetivo utilizando apenas as doses mínimas recomendadas, e evitando maior fitointoxicação das culturas.

Em beterraba, apenas com 20% da dose indicada pela bula de tembotrione e atrazine proporcionou fitointoxicação menor do que 30%, enquanto quando aplicados isoladamente com 50% da dose recomendada os níveis de fitointoxicação atingiram 100% (FRANÇA et al., 2016).

Figura 1 – Controle de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) com o uso de diferentes doses de glyphosate (A) e clethodim (B) isolados e em mistura (C).



Fonte: Adaptado BIANCHI (2018).

3.5 ATRASO NA EVOLUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM POPULAÇÕES DE PLANTAS DANINHAS

No Brasil, a partir da entrada da soja e milho tolerantes ao glyphosate o uso intenso e contínuo do glyphosate culminou na seleção de biótipos resistentes a essa molécula. Atualmente, a buva (*Conyza* spp.) e o capim-amargoso (*Digitaria insularis* (L.) Mez ex Ekman) se destacam no cenário nacional como as plantas mais comuns e problemáticas. Embora em alguns casos, mesmo utilizando outros herbicidas o controle destas plantas ainda é ineficiente, entretanto algumas misturas ao glyphosate apresentam boa resposta de manejo, como no caso de glyphosate + saflufenacil para buva resistente (DALAZEN et al., 2015) ou glyphosate + herbicidas inibidores da ACCase para capim-amargoso (BARROSO et al., 2014; GOMES et al., 2017).

A aplicação de diferentes mecanismos de ação de herbicidas na mesma estação de crescimento pode ser mais eficaz na prevenção da evolução da resistência das plantas daninhas do que em outras práticas de manejo, como a rotação de mecanismos de ação ao longo dos anos (DIGGLE et al., 2003).

4 LIMITAÇÃO DA MISTURA DE HERBICIDAS

Como mencionado anteriormente, essa nova realidade pós regularização das misturas em tanque de defensivos agrícolas no Brasil, evidencia a necessidade da criação de regras que se atente aos riscos da mistura, as possíveis incompatibilidades químicas no tanque de pulverização e suas consequências, assim como a necessidade de observação das culturas agrícolas e intervalos de segurança. Desse modo, a seguir serão destacadas as principais limitações quanto ao uso de misturas de herbicidas.

4.1 INCOMPATIBILIDADE FÍSICA OU QUÍMICA

Quando a aplicação de uma mistura de herbicidas é realizada de maneira correta, respeitando as recomendações de bula e condições ambientais, mas seu desempenho é menor do que do quando aplicado isolados, provavelmente houve incompatibilidade físico ou química entre os produtos. A incompatibilidade física pode levar a formação de precipitados, complexação ou a floculação. Já na incompatibilidade química pode ocorrer hidrólises alcalinas, dissociações iônicas ou inativações por radicais nas moléculas dos defensivos.

Um exemplo de incompatibilidade física acontece quando o uso de produtos fitossanitários em formulação pó-molhável associados a formulados de concentração emulsionável, resulta em alta sedimentação, levando a obstrução de filtros de pulverização e diminuindo a vida útil de bombas, pontas e componente do pulverizador (SILVA e al., 2007; MINGUELA e CUNHA, 2010).

Em relação a incompatibilidade química o pH da calda é um fator importante antes da pulverização. Geralmente os produtos apresentam maior eficácia quando a água possui pH ligeiramente ácida, enquanto alcalinas podem ser hidrolisados e perder o efeito sinérgico da mistura. É muito utilizado adjuvantes para realizar a correção do pH, entretanto não existem um pH ideal, irá depender de cada produto, por isso é necessário consultar as recomendações da bula (MINGUELA; CUNHA, 2010).

4.2 MENOR CONTROLE

O efeito antagônico a qual pode promover menor controle quando comparada ao uso isolado de um herbicida.

Atualmente os agrônomos são responsáveis por indicar ao produtor qual a melhor opção de mistura de herbicidas, para evitar que interações como essa ocorram. Inúmeros trabalhos já foram reportados antagonismo entre aplicações foliares de graminicidas com latofolicidas principalmente de 2,4-D com herbicidas inibidores da acetil coenzima A (ACCCase), como é o caso de *Lolium multiflorum* Lam. com aplicações de 2,4-D + clodinafop (TREZZI et al., 2007). A combinação de 2,4-D + diclofop reduziu a absorção dos herbicidas (GILLESPIE; NALEWAJA, 1989) e associação de 2,4-D + haloxyfop comprometeu a translocação e aumentou a metabolização destes herbicidas em capim-massambará (*Sorghum halepense*) (MUELLER et al., 1990).

Atualmente, glyphosate é o herbicida mais utilizado no mundo, em que quase todas as culturas são realizadas ao menos uma aplicação. Constantin e Oliveira Jr. (2011) apresentaram vários estudos demonstrando interações antagônicas do glyphosate com outros herbicidas, recentemente há um crescente uso do dicamba devido a entrada de soja tolerante a este herbicida no mercado, e efeito antagônico entre glyphosate e dicamba também já foi observado, diminuindo a translocação destes herbicidas em grama-vermelha (*Kochia scoparia* (L.) Schrad.) (OU et al., 2018).

4.3 OCORRÊNCIA DE RESISTÊNCIA CRUZADA E MÚLTIPLA

Da mesma forma como ocorre para herbicidas aplicados isoladamente, quando em mistura, o uso excessivo e irracional de diferentes herbicidas com o mesmo ou com diferentes mecanismos de ação, podem ocasionar a ocorrência de plantas daninhas tanto com resistência cruzada quanto múltipla.

No mundo já foi relatado resistência múltipla de espécies de plantas daninhas até sete mecanismos de ação diferentes. No Brasil já são 50 casos de resistência de plantas daninhas, dentre esses 16 são casos de múltipla resistência, o mais recente ocorreu em 2017 no Paraná onde foi reportado *Conyza sumatrensis* resistente a cinco herbicidas com mecanismo de ação diferente (HEAP, 2019). Portanto ao mesmo tempo que as misturas de herbicidas podem ser benéficas ao controle de plantas daninhas, se aplicadas de maneira incorreta podem levar a situações como essa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a nova legislação de mistura de herbicidas em tanque, há uma tendência de produtos serem utilizados de maneira mais segura. Uma vez que, as mesmas são consideradas como importantes ferramentas para o manejo de plantas daninhas na agricultura. Contudo, vários fatores influenciam os tipos e mecanismos de interação entre as moléculas quando aplicadas conjuntamente na mesma calda. Assim, a escolha dos produtos a serem misturados precisam ser definidos com base em conhecimentos previamente validados.

Vale lembrar que a mistura, pode trazer benefícios relacionados ao aspecto de manejo de plantas daninhas, além de aumentar o espectro de controle, quando usado corretamente a mistura pode auxiliar no manejo de resistência, aumentando a sustentabilidade das moléculas já existentes. Não apenas favorável à redução de custo, as misturas também podem reduzir as doses dos herbicidas, podendo levar a interação sinérgica e, consequentemente aumentar o controle e diminuir o número de pulverização em uma área.

Entretanto para que tudo isso entre em prática, os engenheiros agrônomos precisa ter conhecimentos técnicos-científicos no momento da recomendação da mistura, o que exige o desenvolvimento de pesquisas aplicadas e a capacitação técnica dos profissionais, buscando as melhores opções para o

manejo, evitando-se a ocorrência de incompatibilidade de calda e novas plantas daninhas com resistência múltipla.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINETO, M.C. et al. Sinergismo de misturas de glyphosate e herbicidas inibidores da PROTOX no controle de cordade-violão. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.15, n.1, 2016.
- BARROSO, A. A. M. et al. Interação entre herbicidas inibidores da accase e diferentes formulações de glyphosate no controle de capim-amargoso. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 619-627, 2014.
- BIANCHI, L. **Efeito de glyphosate e clethodim isolados e em mistura em Digitaria insularis**. Botucatu, Unesp, 2018. 133f. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) – Universidade Estadual Paulista, 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa N° 40, de 11 de outubro de 2018**. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 15 out. 2018, n. 198, Seção 1, pag. 3.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários - AGROFIT**. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 25/09/2019.
- CALABRESE, E. J. **Multiple chemical interactions**. Chelsea: Lewis Publishers, 1991. p. 13.
- CARVALHO, F.T. et al. Controle de dez espécies daninhas em cana-de-açúcar com o herbicida mesotrione em mistura com ametryn e metribuzin. **Planta Daninha**, v. 28, n. 3, p. 585-590, 2010.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Planilhas de custo de produção – Culturas de 1ª safra/2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/itemlist/category/406-planilhas-de-custos-de-producao-culturas-de-1-safra>>. Acesso em: 27/09/2019.

- CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S. Mecanismo de Ação de Herbicidas. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 141-192.
- DALAZEN, G. et al. Sinergismo na combinação de glifosato e saflufenacil para o controle de buva. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 249-256, 2015.
- DAMALAS, C. A. Herbicide Tank Mixtures: Common Interactions. **International Journal of Agriculture & Biology**. V. 6, n. 1, p. 209-212, 2004.
- DIGGLE, A. J.; NEVE, P. B.; SMITH, F. P. Os herbicidas usados em combinação podem reduzir a probabilidade de resistência a herbicidas em populações de plantas daninhas finitas. **Weed Res.**, V. 43, n. 5, p. 371-382, 2003.
- FIGUEIREDO, M. R. A. **Interações entre os herbicidas 2, 4-D e glifosato: aspectos químicos, bioquímicos e fisiológicos**. 2015. 114f. Dissertação (Mestrado em Ciências/Fitotecnia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
- FRANÇA, G. V. S. et al. Residues of atrazine and tembotrione in the soil affect the initial growth of beets. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 2, p. 195-204, 2016.
- GAZZIERO, D. L. P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha**, v.33, n.1, p.83-92, 2015.
- GILLESPIE, G. R.; NALEWAJA, J. D. Influence of 2,4-D and MCPA formulations and oil on diclofop phytotoxicity. **Weed Sci.**, v. 37, p. 380–384, 1989.
- GOMES, L. J. P. et al. Chemical Control and Morphoanatomical Analysis of Leaves of Different Populations of Sourgrass. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 35, p. 1–11, 2017.
- GUIMARÃES, G. L. Principais fatores comerciais condicionantes da disponibilidade de produtos isolados e em misturas. In: CONGRESSO

- BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 29, 2014, Gramado. **Palestra...** Gramado: 2014. CD ROM.
- HEAP, I. **The International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. Online. Internet. Disponível em: <www.weedscience.org>. Acessado em: 29/09/2019.
- JORDAN, D. L. Defining Interactions of Herbicides with Other Agrochemicals Applied to Peanut. *Herbicides, Theory and Applications*. 2011.
- KRUSE, N. D. **Análise da associação de metribuzin e clomazone como modelo para o estudo do sinergismo entre herbicidas**. Porto Alegre, UFRGS, 2002. 133f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.
- KRUSE, N. D.; VIDAL, R. A.; TREZZI, M. M. Dose-response curve and isobologram used to describe the mixture of herbicides inhibitors of the photosystem II and carotenoid synthesis. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 579-587, 2006.
- LECHENET, M. et al. Reducing pesticide use while preserving crop productivity and profitability on arable farms. **Nat Plants**. v. 3, p. 1-6, 2017.
- LIEBL, R.; WORSHAM, A. D. Effect of chlorsulfuron on diclofop phytotoxicity to italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). **Weed Sci.**, v. 35, p. 383–7, 1987.
- MINGUELA, J. V.; CUNHA, J. P. A. R. Manual de aplicação de produtos fitossanitários. 1 ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2010. p. 588.
- MUELLER, T. C.; BARRETT, M.; WITT, W. W. A basis for the antagonistic effect of 2,4-D on haloxyfop-methyl toxicity to Johnsongrass (Sorghum halepense). **Weed Sci.**, v. 38, p. 103–107, 1990.
- NASH, R.G. Phototoxic interactions studies - techniques for evaluation and presentation of results. **Weed Science**, Champaign, v. 29, n. 2, p. 147-55, 1981.

- OU, J. et al. Reduced translocation of glyphosate and dicamba in combination contributes to poor control of *Kochia scoparia*: evidence of herbicide antagonism. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 5330, 2018.
- POPP, J.; PETŐ, K.; NAGY, J. (2013) Pesticide productivity and food security. A review. **Agron Sustain Dev.**, v. 33, p. 243-255, 2013.
- SHANER, D. L.; BECKIE, H. J. The future for weed control and technology. **Pest Manag Sci.**, v. 70, p. 1329-1339, 2013.
- SILVA, J. F. et al. Herbicidas: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. 367 p.
- STARKE, R. J; OLIVER, L. R. Interaction of glyphosate with chlorimuron, fomesafen, imazethapyr, and sulfentrazone. **Weed Sci.**, v. 46, p. 652-660, 1998.
- TREZZI, M. M. et al. Antagonismo das associações de clodinafop-propargyl com metsulfuron-methyl e 2,4-D no controle de azevém (*Lolium multiflorum*). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.25, n. 4, p. 839-847, 2007.
- WELLS, B. H.; APPLEBY, A. P. Lactofen increases glyphosate-simulated shikimate production in little mallow (*Malva parviflora*). **Weed Sci.**, v. 40, p. 171-173, 1992.
- ZHANG, J.; A.S.; HAMILL, A.S.; WEAVER, S.E. Antagonism and synergism between herbicides: trends from previous studies. **Weed Technol.**, v. 9, p. 86–90, 1995.