

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO SUL DE MINAS GERAIS – CÂMPUS MACHADO**

Jéssica Cursino Presoto

**Eficácia e Interação dos Herbicidas Metsulfuron-methyl ou Saflufenacil em
Mistura com o Herbicida Glyphosate**

**MACHADO - MG
2018**

Jéssica Cursino Presoto

**Eficácia e Interação dos Herbicidas Metsulfuron-methyl ou Saflufenacil em
Mistura com o Herbicida Glyphosate**

Monografia apresentada ao IFSULDEMINAS, como parte das exigências do curso de Agronomia para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Saul Jorge Pinto de Carvalho

**MACHADO - MG
2018**

P937e

Presoto, Jéssica Cursino

Eficácia e interação dos herbicidas Metsulfuron-methyl ou Saflufenacil em mistura com o herbicida Glyphosate / Jéssica Cursino Presoto. -- Machado: [s.n.], 2018.

35 p.

Orientador: Prof^o. Dr. Saul Jorge Pinto de Carvalho.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - Campus Machado.

Inclui bibliografia

1. Manejo. 2. Plantas daninhas. 3. Resistência. I Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Machado. II. Título.

CDD 632.5

Jéssica Cursino Presoto

**Eficácia e Interação dos Herbicidas Metsulfuron-methyl ou Saflufenacil em
Mistura com o Herbicida Glyphosate**

Monografia apresentada ao IFSULDEMINAS, como parte das exigências do Curso de Agronomia para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: _____

Saul Jorge Pinto de Carvalho

Membros: _____

Luís Lessi dos Reis

José Antônio Dias Garcia

**MACHADO - MG
2018**

DEDICATÓRIA

Dedico a meus pais que sempre estiveram presentes em minha carreira acadêmica me dando todo apoio e incentivo, e a Deus que guiou meus passos durante toda esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Saul Jorge Pinto de Carvalho, pela amizade e por estar sempre presente na minha vida acadêmica e no desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos Jeisiane de Fátima Andrade e Acácio Gonçalves Netto pelo constante companheirismo em nossas pesquisas, por todo apoio e incentivo.

Aos demais integrantes do GAPE Matologia do IFSULDEMINAS – Câmpus Machado.

Ao IFSULDEMINAS por ceder a estrutura para desenvolver os experimentos e ao CNPq e FAPEMIG pelas concessões de bolsas.

RESUMO

A elevada eficácia dos herbicidas no controle de plantas daninhas e sua colaboração na redução dos custos de produção, levaram ao uso repetitivo de uma mesma molécula, com destaque para a grande adoção do herbicida glyphosate. Tal prática vem selecionando biótipos de plantas daninhas resistentes, além de dificultar o manejo de plantas tolerantes ao mesmo. A solução mais comum é a inclusão de herbicidas alternativos no sistema de produção, aplicados de forma isolada ou misturados em tanque. Desta forma, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a eficácia e a interação de misturas de metsulfuron-methyl ou saflufenacil com o herbicida glyphosate para controle de plantas daninhas. Foram desenvolvidos quatro experimentos independentes, dois destes para avaliar a mistura de glyphosate e metsulfuron-methyl e outros dois para avaliar a mistura de glyphosate e saflufenacil. Quanto ao metsulfuron-methyl, os tratamentos constaram de esquema fatorial 5x5, em que cinco foram as doses do herbicida glyphosate (0, 180, 360, 540 e 720 g e.a. ha⁻¹) e cinco foram as doses do herbicida metsulfuron-methyl (0; 1,2; 2,4; 3,6 e 4,8 g i.a. ha⁻¹); quanto ao saflufenacil, os tratamentos constaram de esquema fatorial 4x4 em que foram quatro doses do herbicida glyphosate (0, 360, 720 e 1.080 g e.a. ha⁻¹) e quatro doses do herbicida saflufenacil (0, 21, 42 e 63 g i.a. ha⁻¹). Em ambos os trabalhos se adotou delineamento experimental de blocos ao acaso, tendo como espécies bioindicadoras o capim-amargoso (*Digitaria insularis*) e a corda-de-viola (*Ipomoea triloba*). Dentre as combinações testadas entre glyphosate e metsulfuron-methyl, a mistura foi considerada aditiva para o capim-amargoso e antagônica para a corda-de-viola. Já para as combinações de glyphosate e saflufenacil, a mistura foi considerada aditiva para o capim-amargoso e para a corda-de-viola. As misturas são consideradas uma importante ferramenta para controle de plantas daninhas resistentes e tolerantes, sendo estes herbicidas importantes moléculas utilizadas em acompanhamento ao herbicida glyphosate.

Palavras chave: plantas daninhas; manejo; resistência; tolerância; sinergia; antagonismo.

ABSTRACT

High herbicide efficacy for weed control and its collaboration for reducing the costs of production led to the repetitive use of the same molecule, especially the great adoption of the herbicide glyphosate. This practice has been selecting biotypes of resistant weeds, as well as hindering the management of tolerant plants. The most common solution for that is the inclusion of alternative herbicides in the system of production, applied isolated or in the tank mixtures. Therefore, this work was developed with the objective of evaluating the efficacy and interaction of the mixtures of metsulfuron-methyl or saflufenacil with the herbicide glyphosate for controlling weed species. Four experiments were developed, two of them for evaluating the mixture of glyphosate and metsulfuron-methyl, and other two for evaluating glyphosate and saflufenacil. Regarding to metsulfuron-methyl, treatments were consequence of a 5x5 factorial scheme combination, where five were the rates of glyphosate (0, 180, 360, 540 and 720 g a.e. ha⁻¹) and five were the rates of the herbicide metsulfuron-methyl (0; 1.2; 2.4; 3.6 and 4.8 g a.i. ha⁻¹). Regarding to saflufenacil, treatments were consequence of a 4x4 factorial scheme combination, where four were the rates of glyphosate (0, 360, 720 and 1,080 g a.e. ha⁻¹) and four were the rates of the herbicide saflufenacil (0, 21, 42 and 63 g a.i. ha⁻¹). In all the trials, experimental design adopted was randomized blocks, with two bioindicators species, sourgrass (*Digitaria insularis*) and morningglory (*Ipomoea triloba*). Among the combinations of glyphosate and metsulfuron-methyl, mixture was considered additive for sourgrass and antagonist for morningglory. Considering the combinations of glyphosate and saflufenacil, mixture was considered additive for sourgrass and morningglory. Mixtures may be considered as important tools to control resistant and tolerant weeds, being these herbicides important molecules commonly used together with glyphosate.

Keywords: weeds; management; resistance; tolerance; synergy; antagonism.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1. Plantas Daninhas	10
2.2. Suscetibilidade, Tolerância e Resistência	10
2.3. Herbicidas	11
2.3.1. Glyphosate	11
2.3.2. Metsulfuron-methyl	12
2.3.3. Saflufenacil	13
2.4. Misturas de Herbicidas	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1. Trabalho 1 – Glyphosate + Metsulfuron-methyl	18
4.2. Trabalho 2 – Glyphosate + Saflufenacil	23
5. CONCLUSÕES.....	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui grande potencial de produção agrícola devido a suas condições edafoclimáticas favoráveis. No entanto, existe uma série de fatores que podem prejudicar a produção. Dentre estes fatores, as plantas daninhas possuem grande importância para a agricultura, pois causam decréscimos na produtividade das culturas, necessidade de controle e aumento nos custos de produção (CIUBERKIS et al., 2010).

Para o controle de plantas daninhas em áreas comerciais destaca-se o uso de herbicidas, sendo o glyphosate a principal molécula adotada, utilizada por muitos anos no controle de plantas daninhas anuais ou perenes em diversos sistemas de produção (FAIRCLOTH et al., 2001; CARBONARI et al., 2005; MOLDES et al., 2012). O herbicida glyphosate é uma molécula não seletiva e de amplo espectro de ação, tendo como mecanismo de ação a inibição da enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs) (MOLDES et al., 2012).

O aumento de sistemas de produção conservacionistas (plantio direto) e a maior flexibilidade para aplicação do produto em culturas geneticamente modificadas (transgênicos) resultaram em maior risco de seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes ao glyphosate, bem como de espécies tolerantes, por consequência da maior pressão de seleção imposta, relacionada ao maior número de aplicações do produto (CHRISTOFFOLETI et al., 2008).

Segundo Peterson (1999), quando a resistência ou tolerância é detectada em uma área agrícola, a mudança mais comum adotada pelos agricultores no sistema produtivo é a inclusão de herbicidas alternativos, aplicados de forma isolada ou misturados em tanque com aqueles herbicidas para os quais a resistência ou tolerância foi detectada.

Assim, é importante associar diferentes herbicidas com o glyphosate como estratégia de controle de plantas daninhas resistentes ou tolerantes (RAMIRES et al., 2010; MACIEL et al., 2011). Uma vez que se inclua um herbicida com diferente mecanismo de ação daquele para o qual a resistência ou tolerância foi identificada, além de alterar o mecanismo de controle, a frequência de seleção de biótipos resistentes é significativamente reduzida.

Dentre os herbicidas com potencial de uso em associação com o glyphosate, destacam-se o metsulfuron-methyl, herbicida inibidor da enzima acetolactato sintase (ALS), e o saflufenacil, herbicida inibidor da enzima protoporfirogênio oxidase (PROTOX) (ALCÂNTARA e SILVA, 2002; MOREIRA et al., 2010; GROSSMANN et al., 2011).

Embora o uso de misturas de herbicidas seja muito comum na agricultura brasileira, há pouca disponibilidade de informações sobre a comparação da eficácia e interação dos herbicidas envolvidos, os quais podem responder de forma sinérgica, aditiva ou antagônica (GAZZIERO, 2015). Desta forma, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a eficácia e a interação das moléculas envolvidas na mistura de glyphosate com os herbicidas metsulfuron-methyl ou saflufenacil para o controle de plantas daninhas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Plantas Daninhas

As plantas daninhas surgiram com a agricultura por meio de um processo evolutivo, acumulando características de sobrevivência e disseminação que permitem a sua ocorrência e permanência nos mais diversos ambientes, ocupando os mais diferentes nichos ecológicos (GALLI, 2009). A permanência das plantas daninhas é um dos mais importantes fatores que interferem de forma negativa nas culturas agrícolas, pois causam reduções de produtividade, necessidade de controle e aumento nos custos de produção, podendo levar a lavoura à perda total (FONTES et al., 2003; CASTRO et al., 2017).

O grau de interferência das plantas daninhas no sistema produtivo pode ser definido como a redução percentual da produção econômica (KUVA et al., 2007) em decorrência da alelopatia ou pela competição por água, luz, nutrientes e espaço, em maior ou menor grau dependendo de fatores como as espécies presentes na área, a densidade de ocorrência destas espécies, o grau de agressividade e o período de convivência das mesmas com a cultura (MELO, 2015).

O manejo intensivo das plantas daninhas pode ser realizado por meio de técnicas manuais, mecanizadas e/ou químicas. Atualmente, o controle químico por meio de herbicidas constitui-se no método mais eficaz e economicamente viável, principalmente nas grandes áreas de cultivos (AGOSTINETTO et al., 2009).

2.2. Suscetibilidade, Tolerância e Resistência

Uma vez que o herbicida entra em contato com a planta daninha, sua eficácia passa a depender da capacidade fisiológica de cada espécie, ou seja, pela capacidade de cada espécie em absorver, translocar e metabolizar a molécula (GALON et al., 2009). Com isso, tem-se respostas distintas de cada espécie de planta daninha para cada aplicação herbicida, sendo elas a suscetibilidade, tolerância e resistência.

A definição de suscetibilidade de uma espécie a um determinado herbicida se dá pelo grau de injúria ou morte da planta após a aplicação de um produto, existindo, portanto, vários graus de suscetibilidade que resultam em alterações marcantes no crescimento e desenvolvimento da espécie, devido à incapacidade de suportar a ação do herbicida. A

suscetibilidade é considerada como uma característica inata de cada espécie (CHRISTOFFOLETI et al., 2000).

Já a definição de tolerância se caracteriza pela habilidade inata de uma espécie de planta daninha sobreviver e se reproduzir após a aplicação do herbicida na dose recomendada, que normalmente seria letal para outras espécies, mesmo sofrendo injúrias. A tolerância não está associada a um processo de seleção imposto pelo herbicida para tornar a planta tolerante, e sim aos mecanismos anatômicos, fisiológicos e/ou morfológicos que dificultam a chegada da dose letal do herbicida até o sítio de ação (enzima, co-enzima, estrutura celular). As moléculas que chegam ao sítio de ação conseguem interagir normalmente, porém não são capazes de controlar a planta (KLINGMAN, ASHTON e NOORDHOFF, 1975; HARRISON e LOUX, 1995).

Por outro lado, a resistência pode ocorrer de forma natural e/ou ser selecionada pela pressão da molécula herbicida no ambiente, sendo definida como a habilidade hereditária de uma planta sobreviver e se reproduzir, após a exposição a uma dose do herbicida normalmente letal para o biótipo selvagem da planta (HEAP, 2014). A resistência a herbicidas é associada à dificuldade das moléculas em interagir com o sítio de ação específico no metabolismo da planta, que são alterados ou suprimidos por genes específicos. Portanto, mesmo que a molécula atinja o sítio de ação em doses iguais ou até mesmo superiores à dose letal, a mesma não é capaz de interagir e promover a morte da planta (HARRISON e LOUX, 1995).

Outra definição simples que auxilia a diferenciação dos termos tolerância e resistência é a presença do biótipo suscetível. Se há um biótipo suscetível, o caso é caracterizado como resistência, sendo esta selecionada no ambiente por uma mutação ao acaso, já se não existem relatos de um biótipo suscetível, define-se como a característica inata de tolerância (CHRISTOFFOLETI et al., 2016).

2.3. Herbicidas

2.3.1. Glyphosate

Atualmente, o glyphosate tem sido considerado como o herbicida de maior importância mundial (FAIRCLOTH et al., 2001; BLACKSHAW e HARKER, 2002) devido à grande adoção de culturas transgênicas tolerantes a molécula, a necessidade de dessecações

em áreas de plantio direto e à facilidade de seu uso, pois possui custo relativamente baixo, baixa toxicidade ao homem e rápida degradação no ambiente (BARROSO et al., 2014).

O glyphosate é um herbicida pós-emergente, do grupo químico das glicinas substituídas, classificado como não seletivo (controlando tanto espécies mono quanto dicotiledôneas), de ação sistêmica (possui capacidade de translocar dentro da planta) e de amplo espectro de ação (controlando uma grande variedade de espécies), o que possibilita um excelente controle das plantas daninhas (CASTRO et al., 2017). Seu mecanismo de ação é bastante singular, pois é o único herbicida capaz de inibir especificamente a enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs) que catalisa a condensação do ácido chiquímico e do fosfo-enol-piruvato, evitando, assim, a síntese de três aminoácidos aromáticos essenciais – triptofano (precursor do ácido indolacético), fenilalanina (precursora de fenóis envolvidos na defesa da planta) e tirosina (precursora da clorofila) (JAWORSKI, 1972; ZABLOTOWICZ e REDDY, 2004).

Quando o glyphosate é aplicado sobre as plantas, ocorre inicialmente uma rápida penetração, seguida por uma longa fase de lenta penetração, sendo que a duração dessas fases depende de numerosos fatores, incluindo espécie, idade, condições ambientais e concentração do glyphosate e surfactante. Depois de aplicado, move-se prontamente através do floema e é rapidamente translocado por todas as partes da planta, seguindo a rota dos produtos da fotossíntese, porém tende a se acumular nas regiões meristemáticas (SILVA e SILVA, 2007; RODRIGUES E ALMEIDA, 2011).

Os sintomas comuns observados nas plantas tratadas desenvolvem-se lentamente e caracterizam-se por cloroses nas regiões meristemáticas ou nas folhas mais jovens, seguidas de necrose foliar entre uma ou três semanas após a aplicação, de acordo com a suscetibilidade da espécie. A folhagem às vezes torna-se roxo-avermelhada em algumas espécies (VIDAL et al., 2014). Outros sintomas foliares comuns são: enrugamento ou má-formações (especialmente nas áreas de rebrotamento) assim como necrose de meristemas e também de rizomas e estolões de plantas perenes (VARGAS, PEIXOTO e ROMAN, 2006).

2.3.2. Metsulfuron-methyl

Os herbicidas que tem por mecanismo de ação a inibição da enzima acetolactato sintase (ALS) ganharam popularidade e tiveram seu uso aumentado devido sua elevada eficácia, amplo espectro de ação, principalmente em espécies dicotiledôneas, sua seletividade

a várias culturas, as baixas doses recomendadas e sua baixa toxicidade a mamíferos (MONQUERO et al., 2000).

O metsulfuron-methyl é um exemplo de herbicida pertencente ao grupo dos inibidores da ALS. Este mecanismo de ação inibe a síntese dos aminoácidos alifáticos de cadeia lateral – valina, leucina e isoleucina (TREZZI e VIDAL, 2001). É um herbicida que pode ser utilizado em pré e pós-emergência com vias de absorção radicular e foliar (RODRIGUES e ALMEIDA, 2011).

Quando a molécula de metsulfuron-methyl encontra-se dentro da célula tem-se a inibição do sítio de ação, e consequente inibição da síntese de acetolactato, indispensável para as demais reações que resultam nas sínteses proteicas. A ausência destes três aminoácidos leva a interrupção da divisão celular e consequente paralização do crescimento (RIZZARDI et al., 2008). A paralisação do crescimento ocorre de uma a duas horas após a aplicação. Entretanto, os sintomas visuais aparecem somente entre 7 e 14 dias após a aplicação e se iniciam pela murcha de partes jovens da planta e posterior clorose (VARGAS et al., 2016).

Principalmente em dicotiledôneas, ocorre inicialmente a presença de nervuras avermelhadas na face abaxial das folhas. Já em gramíneas ocorre redução do comprimento dos entrenós e espessamento do colmo. A sintomatologia geral é de amarelecimento da região meristemática com evolução para necrose e completa morte das plantas em 10 a 60 dias. Em aplicações pré-emergentes, a morte das plantas ocorre desde logo após a emergência até o estágio de duas folhas (VIDAL et al., 2014).

2.3.3. Saflufenacil

O herbicida saflufenacil foi introduzido no Brasil em 2013 e em outros países em 2010, sendo recomendado para dessecação de culturas, controle em pré-semeadura e como herbicida pré-emergente, para a maioria das plantas daninhas dicotiledôneas (GROSSMANN et al., 2011).

Na presença do herbicida, tem-se a inibição competitiva da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), última enzima comum das rotas de síntese do grupo heme e da clorofila (HAO et al., 2011), o que resulta em acúmulo de protoporfirinogênio IX no cloroplasto e sua consequente difusão para o citoplasma, onde é rapidamente convertido para protoporfirina IX por peroxidases insensíveis ao herbicida. Desta forma tem-se o bloqueio na síntese de clorofila e citocromos no cloroplasto, além da protoporfirina IX ser um pigmento fotodinâmico e seu acúmulo no citoplasma, quando em presença de luz e oxigênio molecular,

originar espécies reativas de oxigênio no citosol, com posterior estresse oxidativo nas membranas e extravasamento do conteúdo celular (MATRINGE, CAMADRO e SCALLA, 1989; BEALE e WEISTEIN, 1990; JACOBS e JACOBS, 1993).

Os sintomas da ação do herbicida são decorrentes dos efeitos desencadeados pelas espécies reativas de oxigênio, levando à planta a sintomas rápidos de branqueamento, dessecação e necrose dos tecidos. A evolução dos sintomas geralmente ocorre em até 2 dias após a aplicação do herbicida (KILINC et al., 2009).

Segundo Fausey e Renner (2000), os sintomas são variáveis em função da espécie vegetal e das condições ambientais, como a disponibilidade de radiação solar, uma vez que o herbicida saflufenacil é dependente de luz. Os sintomas ainda podem variar em função da concentração do produto que atinge o alvo.

2.4. Misturas de Herbicidas

Apesar de todos os benefícios, o uso intensivo do herbicida glyphosate fez com que comunidades de plantas daninhas dos agroecossistemas desenvolvessem mecanismos de resposta na flora específica, além de selecionar biótipos de plantas daninhas resistentes a essa molécula (LOPEZ-OVEJERO, 2006).

No Brasil, existem vários casos de resistência a esta molécula como as espécies de buva (*Conyza* spp.), o capim-amargoso (*Digitaria insularis*) e, mais recentemente, o caruru-palmeri (*Amaranthus palmeri*) (HEAP, 2016). Além disso, embora o glyphosate seja considerado não seletivo, existem vários relatos de problemas no controle de espécies tolerantes, como a corda-de-viola (*Ipomoea triloba*) (MONQUERO, CHRISTOFFOLETI e SANTOS, 2001).

Neste sentido, tem-se a necessidade de adotar novas estratégias para o manejo destas populações de plantas daninhas, tal como a combinação de glyphosate com outras moléculas herbicidas (MOREIRA et al., 2010; DALAZEN et al., 2015). Dentre os herbicidas com potencial de uso em mistura com o glyphosate destacam-se o saflufenacil e o metsulfuron-methyl.

É importante ressaltar que a mistura de herbicidas em tanque é um assunto pouco estudado na literatura, e pode resultar em efeitos adversos, incluindo incompatibilidade, sinergia, antagonismo ou efeito aditivo. Quando o controle obtido for maior do que o controle esperado da mistura considera-se um efeito sinérgico, ou se o controle obtido for menor do que o controle esperado da mistura considera-se como efeito antagônico. Já quando

o controle das plantas daninhas pela mistura é equivalente ao controle esperado, a resposta é considerada aditiva (LICH, RENNER e PENNER, 1997; GAZZIERO, 2015).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram desenvolvidos dois trabalhos independentes, o primeiro para avaliação da mistura de glyphosate e metsulfuron-methyl e o segundo para avaliação da mistura de glyphosate e saflufenacil. Todos os experimentos foram desenvolvidos no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Câmpus Machado – MG (21° 40' S; 45° 55' W; 850 m de altitude), entre Janeiro de 2015 e maio de 2017.

Foram realizados dois experimentos para avaliar a mistura de glyphosate e metsulfuron-methyl e dois outros experimentos para glyphosate e saflufenacil. Em cada experimento adotou-se uma espécie bioindicadora, utilizando-se de uma monocotiledônea (*Digitaria insularis* – capim-amargoso) e uma dicotiledônea (*Ipomoea triloba* – corda-de-violão), ambas consideradas plantas daninhas de difícil controle. As sementes dos bioindicadores foram obtidas por meio de coleta em campo ou adquiridas comercialmente. Os propágulos foram acondicionados em sacos de papel, em local seco, à temperatura ambiente, até a instalação dos experimentos.

Inicialmente, as sementes dos bioindicadores foram germinadas em caixas plásticas com capacidade para 2 L, preenchidas com substrato comercial (casca de *Pinus* + turfa + vermiculita). Em estágio fenológico de uma folha plenamente expandida (monocotiledôneas) ou em folhas cotiledonares (dicotiledôneas), as plântulas foram transplantadas para vasos onde permaneceram até o final do experimento, em população média de oito plantas por vaso (*D. insularis*) ou três plantas por vaso (*I. triloba*).

Os experimentos foram instalados seguindo o modelo de delineamento experimental de blocos ao acaso, em que cada parcela constou de um vaso com capacidade para 1,0 L, preenchido com a mistura de substrato comercial, terra peneirada e vermiculita na proporção de 6:3:1, respectivamente. Todas as parcelas foram devidamente fertilizadas e irrigadas diariamente. Para o primeiro trabalho (metsulfuron-methyl), para cada bioindicador, os tratamentos constaram de esquema fatorial 5x5, em que se adotaram cinco doses do herbicida glyphosate (0, 180, 360, 540 e 720 g e.a. ha⁻¹) e cinco doses do herbicida metsulfuron-methyl (0; 1,2; 2,4; 3,6 e 4,8 g i.a. ha⁻¹), resultando em 25 tratamentos e 150 parcelas (seis repetições). Para o segundo trabalho (saflufenacil), os tratamentos constaram de esquema fatorial 4x4, em que quatro foram as doses do herbicida glyphosate (0, 360, 720 e 1.080 g e.a. ha⁻¹) e quatro também foram as doses do herbicida saflufenacil (0, 21, 42 e 63 g i.a. ha⁻¹), resultando em 16 tratamentos e 80 parcelas (cinco repetições). Em todos os tratamentos, utilizou-se água deionizada no preparo das soluções, para evitar contaminação.

As pulverizações foram realizadas sobre plantas em pré-perfilhamento (*D. insularis*) ou quatro folhas plenamente expandidas (*I. triloba*). Para tanto, foi utilizado pulverizador costal de precisão, pressurizado por CO₂, acoplado a ponta única do tipo TeeJet 110.02, posicionada a 0,50 m dos alvos, com consumo relativo de calda de 200 L ha⁻¹.

Em seguida, avaliou-se o controle percentual aos 14 e 28 dias após aplicação (DAA) para o primeiro trabalho, e aos 7, 14 e 28 DAA para o segundo trabalho, bem como a massa seca residual aos 28 DAA para ambos. A avaliação aos 7 DAA foi incluída no trabalho com saflufenacil devido à ação de contato deste produto inibidor da PROTOX, ou seja, trata-se de uma molécula de ação mais rápida. Para as avaliações de controle percentual, foi atribuído 0% no caso da ausência de sintomas causados pelos herbicidas e 100% para a morte das plantas, segundo o método proposto pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD, 1995). A massa vegetal se obteve a partir da colheita do material vegetal remanescente nas parcelas, com posterior secagem em estufa a 70°C por 72 horas.

A análise dos dados foi realizada por meio da aplicação do teste F na análise da variância, seguido do emprego do teste de Scott-Knott, ambos com 5% de significância. Se considerado apenas um nível de tratamentos, observam-se tratamentos quantitativos, porém para viabilizar a análise de antagonismo-sinergia das misturas não foram aplicadas regressões.

A análise de antagonismo-sinergia foi baseada no modelo proposto por Colby (1967):

$$E = 100 - \frac{(100 - X) * (100 - Y)}{100}$$

Em que: X é a porcentagem de inibição do crescimento (controle) pelo glyphosate na dose x ; Y é a porcentagem de inibição do crescimento (controle) pelo herbicida metsulfuron-methyl ou saflufenacil na dose y ; e E é a porcentagem *esperada* da mistura dos herbicidas na mesma dose ($x + y$) (BARROSO et al., 2014; TREZZI et al., 2016).

Então, E pode ser entendida como a toxicidade esperada da mistura. Se a resposta observada for maior que a esperada, a mistura é sinérgica; se a resposta observada for menor que a esperada, a mistura é antagônica; se a resposta observada for igual à esperada, a mistura é aditiva. Para comparação da resposta esperada e resposta observada adotou-se o teste 't', com 5% de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Trabalho 1 – Glyphosate + Metsulfuron-methyl

Tendo como bioindicador o capim-amargoso, em todas as avaliações de controle percentual evidenciou-se interação das misturas de glyphosate e metsulfuron-methyl, de forma que foi realizada a decomposição fatorial dos dados (Tabela 1).

O glyphosate é um herbicida não seletivo que possui amplo espectro de controle (RODRIGUES e ALMEIDA, 2011), o que se confirmou nos resultados de controle percentual aos 28 DAA, que evidenciam a elevada eficácia do glyphosate sobre o capim-amargoso em doses superiores a 540 g ha⁻¹ (Tabela 1). Notadamente, apenas foram alcançados níveis satisfatórios no controle do capim-amargoso com o incremento da dose de glyphosate, não havendo diferenças com o incremento na dose de metsulfuron-methyl.

Tabela 1. Controle percentual¹ do capim-amargoso (*Digitaria insularis*) após pulverização de diferentes doses do herbicida glyphosate e metsulfuron-methyl, isoladas ou em mistura, avaliados aos 14 e 28 DAA. Machado - MG, 2015

Glyphosate (g ha ⁻¹)	Metsulfuron-methyl (g ha ⁻¹)				
	0	1,2	2,4	3,6	4,8
Avaliação de controle realizada aos 14 dias após aplicação					
0	0,0 C b	18,0 D a	15,3 B a	25,8 B a	18,3 B a
180	28,7 B b	36,7 C a	19,2 B b	35,8 B a	49,7 A a
360	42,5 A a	37,8 C a	49,2 A a	43,2 B a	58,7 A a
540	50,5 A a	52,2 B a	64,3 A a	37,2 B a	47,3 A a
720	55,7 A a	75,0 A a	61,3 A a	66,7 A a	67,8 A a
CV = 21,57 F _{int} = 2,651** F _{gly} = 46,244** F _{met} = 3,903**					
Avaliação de controle realizada aos 28 dias após aplicação					
0	0,0 D b	14,7 C a	10,8 C a	22,2 B a	15,8 C a
180	36,3 C b	51,3 B a	29,8 B b	39,3 B b	65,8 B a
360	66,0 B a	53,3 B a	82,2 A a	76,3 A a	76,5 B a
540	91,3 A a	88,2 A a	95,5 A a	88,2 A a	88,2 A a
720	95,8 A a	99,5 A a	97,2 A a	98,0 A a	98,2 A a
CV = 17,05 F _{int} = 2,617** F _{gly} = 137,377** F _{met} = 2,962*					

¹Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância; *Teste F significativo a 5%; **Teste F significativo a 1% de probabilidade.

O herbicida metsulfuron-methyl possui elevada eficácia no controle de diversas espécies dicotiledôneas (RODRIGUES e ALMEIDA, 2011), o que se evidenciou aos 14 e 28 DAA onde as doses isoladas do mesmo não foram capazes de alcançar controle satisfatório do capim-amargoso (Tabela 1).

Para avaliação de massa seca, não foi identificada interação, obtendo somente o efeito das diferentes doses de glyphosate (Tabela 2). Novamente, apenas são alcançados níveis satisfatórios no controle do capim-amargoso com o incremento da dose de glyphosate, não havendo diferenças com o incremento na dose de metsulfuron-methyl. Desta forma, pode-se avaliar o efeito da mistura sobre a eficácia do herbicida glyphosate, visto que foi este produto que efetivamente promoveu o controle do capim-amargoso (Tabela 1 e 2).

Adotando-se a corda-de-viola como espécie bioindicadora, em nenhuma das avaliações obteve-se controle percentual considerado satisfatório, da ordem de 80% (Tabela 3). Porém, neste caso, além da variável controle, também foi detectada interação fatorial para a variável massa de matéria seca (Tabela 4), em contraponto ao que foi identificado para o capim-amargoso.

Tabela 2. Massa seca residual¹ do capim-amargoso (*Digitaria insularis*) após pulverização de diferentes doses do herbicida glyphosate e metsulfuron-methyl, isolados ou em mistura, avaliados aos 28 DAA. Machado - MG, 2015

Glyphosate (g ha ⁻¹)	Metsulfuron-methyl (g ha ⁻¹)					Média
	0	1,2	2,4	3,6	4,8	
0	6,24	5,36	6,27	4,35	5,41	5,53 D
180	4,67	3,52	4,37	3,87	2,72	3,83 C
360	2,69	2,99	2,20	2,73	2,51	2,63 B
540	1,64	1,92	1,48	2,20	1,95	1,84 A
720	1,73	1,27	1,50	1,51	1,50	1,50 A
Média	3,39	3,01	3,16	2,93	2,82	---
CV = 16,12 F _{int} = 0,993 ^{NS} F _{gly} = 42,519** F _{met} = 0,772 ^{NS}						

¹Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância; Dados reais apresentados, porém previamente transformados por $\sqrt{x + 1}$; **Teste F significativo a 1% de probabilidade; ^{NS}Teste F não significativo.

Considerando-se concomitantemente as avaliações de controle e massa seca residual da corda-de-viola aos 14 e 28 DAA (Tabelas 3 e 4), somente a dose de 4,8 g ha⁻¹ de metsulfuron-methyl que garantiu a igualdade das doses de glyphosate. Para todas as outras doses de metsulfuron-methyl houve divergência entre as doses de glyphosate em ao menos uma avaliação (Tabelas 3 e 4). Neste ponto, a simples análise estatística tradicional permite concluir que a presença de metsulfuron-methyl na calda de pulverização incrementa os níveis de controle obtidos com o glyphosate sobre corda-de-viola, sobretudo para doses superiores a 3,6 g ha⁻¹.

Tabela 3. Controle percentual¹ da corda-de-viola (*Ipomoea triloba*) após pulverização de diferentes doses do herbicida glyphosate e metsulfuron-methyl, isoladas ou em mistura, avaliados aos 14 e 28 DAA. Machado - MG, 2015

Glyphosate (g ha ⁻¹)	Metsulfuron-methyl (g ha ⁻¹)				
	0	1,2	2,4	3,6	4,8
Avaliação de controle aos 14 dias após aplicação					
0	0,0 B a	41,5 B b	46,7 A a	50,8 A a	49,8 A a
180	41,8 A a	46,0 B a	50,0 A a	45,7 B a	48,0 A a
360	47,8 A a	45,3 B a	48,7 A a	52,8 A a	45,5 A a
540	47,5 A b	53,5 A a	50,3 A a	45,7 B b	51,2 A a
720	44,5 A b	48,7 A b	53,8 A a	47,0 B b	47,0 A b
CV = 10,94 F _{int} = 20,555** F _{gly} = 27,002** F _{met} = 36,006**					
Avaliação de controle aos 28 dias após aplicação					
0	0,0 C b	47,3 B a	53,5 B a	51,3 B a	60,3 A a
180	44,3 B b	51,7 B b	68,2 A a	69,5 A a	67,8 A a
360	57,2 A b	52,2 B b	69,7 A a	66,8 A a	70,3 A a
540	55,5 A b	67,7 A a	60,3 B b	68,5 A a	70,0 A a
720	55,8 A b	70,3 A a	75,8 A a	76,7 A a	75,3 A a
CV = 15,58 F _{int} = 5,575** F _{gly} = 38,514** F _{met} = 39,029**					

¹Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância; **Teste F significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 4. Massa seca residual¹ da corda-de-viola (*Ipomoea triloba*) após pulverização de diferentes doses do herbicida glyphosate e metsulfuron-methyl, isolados ou em mistura, avaliados aos 28 DAA. Machado - MG, 2015

Glyphosate (g ha ⁻¹)	Metsulfuron-methyl (g ha ⁻¹)					Média
	0	1,2	2,4	3,6	4,8	
0	2,45 C b	0,80 B a	0,75 B a	0,70 A a	0,53 A a	1,05
180	1,10 B b	0,73 B a	0,48 A a	0,48 A a	0,51 A a	0,66
360	0,78 A b	0,79 B b	0,49 A a	0,52 A a	0,53 A a	0,62
540	0,86 A b	0,51 A a	0,55 A a	0,44 A a	0,43 A a	0,56
720	0,62 A a	0,51 A a	0,41 A a	0,44 A a	0,40 A a	0,48
Média	1,16	0,67	0,54	0,52	0,48	---
CV = 6,04 F _{int} = 8,413** F _{gly} = 27,958** F _{met} = 47,104**						

¹Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância; Dados reais apresentados, porém previamente transformados por $\sqrt{x + 1}$; **Teste F significativo a 1% de probabilidade; ^{NS}Teste F não significativo.

Para o capim-amargoso, detectou-se variabilidade geral dos dados, porém não foi identificado efeito negativo ou positivo da mistura de herbicidas sobre a ação do glyphosate (Tabela 5). Neste caso, considerando-se os dados de controle observados, foram calculados os dados esperados, bem como a comparação dos valores observados e esperados por meio da diferença mínima significativa (DMS) do teste de 't', com 5% de significância.

Tabela 5. Análise da interação das misturas de glyphosate e metsulfuron-methyl aos 28 dias após pulverização sobre o capim-amargoso (*Digitaria insularis*). DMS_{5%} = 19,47. Machado - MG, 2015

Glyphosate (g ha ⁻¹)	Metsulfuron-methyl ¹ (g ha ⁻¹)											
	1,2			2,4			3,6			4,8		
	Obs. ¹	Esp. ²	Int. ³	Obs. ¹	Esp. ²	Int. ³	Obs. ¹	Esp. ²	Int. ³	Obs. ¹	Esp. ²	Int. ³
180	51,3	45,7	=	29,8	43,2	=	39,3	50,4	=	65,8	46,4	=
360	53,3	71,0	=	82,2	69,7	=	76,3	73,5	=	76,5	71,4	=
540	88,2	92,6	=	95,5	92,2	=	88,2	93,2	=	88,2	92,7	=
720	99,5	96,4	=	97,2	96,3	=	98,0	96,7	=	98,2	96,5	=

¹Valores observados; ²Valores esperados; ³Análise da interação, considerando-se teste 't' aplicado com 5% de significância, em que (+) diz respeito à mistura sinérgica, (=) diz respeito à mistura aditiva e (-) diz respeito à mistura antagônica.

Para tanto, nenhum dado observado foi diferente dos valores esperados, de forma que não há evidências de efeitos sinérgicos ou antagônicos para esta mistura, considerando-se o controle da espécie monocotiledônea. Para todas as comparações, as misturas foram consideradas aditivas (Tabela 5), embora haja trabalhos na literatura científica que relatam a tendência de sinergismo da mistura (KUDSK e MATHIASSEM, 2003).

Neste sentido, Alcântara e Silva (2000) comentam que esta mistura amplia o espectro de controle do glyphosate, além de permitir efeito residual do tratamento. Arizaleta, Anzalone e Silva (2008), também estudando o efeito da mistura de glyphosate e metsulfuron-methyl, constataram redução satisfatória na densidade de plantas daninhas.

Já as análises de interação para corda-de-viola, obtiveram resultados divergentes em relação ao capim-amargoso (Tabela 6), bem como da hipótese científica. Neste caso, por diversas vezes, os valores de controle observados foram inferiores aos valores esperados, com diferença maior que a DMS do teste 't', indicando antagonismo da mistura. Esse resultado se opõe os obtidos por Inoue et al. (2012), que verificaram eficácia da mistura na dessecação de plantas adultas de *Crotalaria (Crotalaria spectabilis)*.

Neste sentido, considera-se que o método de Colby (1967) é muito rigoroso e só considera sinergismo os casos em que a mistura resulta em eficácia observada significativamente superior à esperada, o que não ocorreu para os bioindicadores avaliados. Ou seja, mesmo na ocorrência de valores de controle numericamente superiores às doses isoladas, estes deveriam ser ainda de maior magnitude para denotar uma mistura aditiva ou sinérgica.

Tabela 6. Análise da interação das misturas de glyphosate e metsulfuron-methyl aos 7 e 14 dias após pulverização sobre a corda-de-viola (*Ipomoea triloba*). DMS_{5%} = 10,73. Machado - MG, 2015

Glyphosate (g ha ⁻¹)	Metsulfuron-methyl ¹ (g ha ⁻¹)											
	1,2			2,4			3,6			4,8		
	Obs. ¹	Esp. ²	Int. ³	Obs. ¹	Esp. ²	Int. ³	Obs. ¹	Esp. ²	Int. ³	Obs. ¹	Esp. ²	Int. ³
180	51,7	70,6	-	68,2	74,1	=	69,5	72,9	=	67,8	77,9	=
360	52,2	77,4	-	69,7	80,1	=	66,8	79,2	-	70,3	83,0	-
540	67,7	76,5	=	60,3	79,3	-	68,5	78,3	=	70,0	82,3	-
720	70,3	76,7	=	75,8	79,4	=	76,7	78,5	=	75,3	82,5	=

¹Valores observados; ²Valores esperados; ³Análise da interação, considerando-se teste 't' aplicado com 5% de significância, em que (+) diz respeito à mistura sinérgica, (=) diz respeito à mistura aditiva e (-) diz respeito à mistura antagônica.

4.2. Trabalho 2 – Glyphosate + Saflufenacil

Considerando como bioindicador o capim-amargoso aos 7 e 14 DAA, a adição de glyphosate elevou o controle em todas as combinações com saflufenacil, principalmente nas maiores doses. Enquanto a adição de saflufenacil elevou a eficácia do glyphosate apenas nas doses de 720 e 1.080 g ha⁻¹ (Tabela 7).

Tabela 7. Controle percentual¹ do capim-amargoso (*Digitaria insularis*) após pulverização de diferentes doses dos herbicidas glyphosate e saflufenacil, isolados ou em mistura, avaliado aos 7, 14 e 28 dias após aplicação. Machado - MG, 2016

Glyphosate (g ha ⁻¹)	Saflufenacil (g ha ⁻¹)			
	0	21	42	63
Avaliação de controle realizada aos 7 dias após aplicação				
0	0,00 B b	35,0 C a	35,0 C a	43,4 C a
360	49,8 A a	53,0 B a	53,6 B a	54,6 B a
720	47,4 A b	63,0 A a	65,0 A a	68,6 A a
1080	45,0 A b	65,6 A a	72,0 A a	75,0 A a
CV = 14,15 F _{int} = 5,039* F _{gly} = 99,225* F _{sfl} = 45,557*				
Avaliação de controle realizada aos 14 dias após aplicação				
0	0,0 B c	31,2 C b	31,6 C b	43,2 B a
360	89,4 A a	88,4 B a	87,8 B a	91,4 A a
720	88,0 A b	98,6 A a	98,2 A a	98,6 A a
1080	86,4 A b	97,4 A a	97,8 A a	97,8 A a
CV = 7,76 F _{int} = 8,928* F _{gly} = 636,434* F _{sfl} = 30,485*				
Avaliação de controle realizada aos 28 dias após aplicação				
0	0,0 B c	21,8 B b	24,0 B b	33,4 B a
360	100,0 A a	99,2 A a	96,0 A a	99,8 A a
720	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a
1080	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a
CV = 5,00 F _{int} = 16,396* F _{gly} = 2010,188* F _{sfl} = 14,914*				

¹Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância; *Significativo ao teste F, com 1% de significância.

Sabidamente, os herbicidas inibidores da PROTOX são latifolicidas por excelência, não tendo resultados significativos em gramíneas (CARVALHO e GONÇALVES NETTO, 2016), o que se evidenciou nas aplicações ineficazes de saflufenacil sobre o capim-amargoso aos 7 e 14 dias após aplicação (DAA) (Tabela 7). Já o glyphosate, por sua vez, sendo um herbicida não seletivo obteve controle eficaz das plantas de capim-amargoso a partir dos 14 DAA.

Os resultados obtidos aos 14 e 21 DAA são semelhantes entre si e evidenciam a elevada eficácia das misturas de glyphosate e saflufenacil, em todas as doses, para o controle de capim-amargoso; bem como elevada eficácia das doses isoladas de glyphosate (Tabelas 7), indicando não haver efeitos negativos na combinação destes herbicidas.

Aos 21 e 28 DAA, a eficácia de todos os tratamentos foi plenamente satisfatória, proporcionando controle sempre superior a 95%, dificultando a análise das misturas, devido a isto, somente o controle percentual aos 28 DAA é demonstrado (Tabela 7). Na redução de massa de matéria seca, todos os tratamentos alcançaram resultados semelhantes estatisticamente, exceto para os tratamentos isolados de saflufenacil, os quais foram sempre inferiores aos demais (Tabela 8). Queiroz et al. (2014) ao estudarem a eficácia e o tipo de interação nas misturas de glyphosate e saflufenacil para o controle de *Brachiaria decumbens*, também registraram a eficácia das misturas, e das doses isoladas de glyphosate já aos 14 DAA.

Tabela 8. Massa de matéria seca¹ do capim-amargoso (*Digitaria insularis*) após pulverização de diferentes doses dos herbicidas glyphosate e saflufenacil, isolados ou em mistura, avaliados aos 28 dias após aplicação. Machado - MG, 2016

Glyphosate (g ha ⁻¹)	Saflufenacil (g ha ⁻¹)			
	0	21	42	63
Massa de matéria seca mensurada aos 28 dias após aplicação				
0	10,98 B c	5,29 B b	5,50 B b	4,24 B a
360	1,44 A a	1,25 A a	1,55 A a	1,18 A a
720	1,61 A a	1,23 A a	1,25 A a	1,34 A a
1080	1,53 A a	1,34 A a	1,10 A a	1,32 A a
	CV = 24,98	F _{int} = 24,749*	F _{gly} = 307,213*	F _{sfl} = 33,225*

¹Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância; *Significativo ao teste F, com 1% de significância.

A mistura de glyphosate com as doses testadas de saflufenacil não obteve efeitos negativos nos resultados quando comparados à aplicação isolada do herbicida glyphosate (Tabela 7 e 8). Este resultado concorda com Dalazen et al. (2015) que afirmam que a combinação de glyphosate com herbicidas inibidores da PROTOX comumente resultam em antagonismo, em consequência da rápida destruição dos tecidos causada por herbicidas de contato, o que reduz a eficácia de ambos os herbicidas. Entretanto, o saflufenacil possui características físico-químicas (pK_a de 4,41 e $\log K_{ow}$ de 2,6) que permitem sua mobilidade via floema, sem que haja prejuízo significativo na combinação com glyphosate.

Com relação ao bioindicador corda-de-viola, em todos os resultados obtidos nas avaliações de controle percentual, evidenciou-se a interação positiva das doses de glyphosate e saflufenacil desde 7 DAA, com controle superior a 96%, assim como perfeita eficácia das aplicações isoladas de saflufenacil (Tabela 9).

Dalazen et al. (2015) obtiveram resultados semelhantes e satisfatórios para o controle de buva (*Conyza ssp.*) resistente ao glyphosate. Além disso, preveniram a ocorrência de rebrote e a dispersão de novas sementes de buva utilizando mistura de glyphosate (540 g ha^{-1}) e saflufenacil (35 g ha^{-1}), o que não ocorreu para as plantas tratadas apenas com saflufenacil.

Neste mesmo sentido, Rocha et al. (2016) verificaram que a adição de saflufenacil à mistura de glyphosate eleva a eficácia de controle para plantas de mamona (*Ricinus communis*) durante a dessecação em pré semeadura da soja (*Glycine max*).

A eficácia da adição de saflufenacil ao glyphosate foi observada já aos 7 DAA, desde a menor dose de glyphosate (360 g ha^{-1}), obtendo controle total aos 28 DAA com doses de 360 g ha^{-1} de glyphosate e 21 g ha^{-1} de saflufenacil (Tabela 9). Já para as doses isoladas de glyphosate, o controle foi insatisfatório quando comparado às misturas até 28 DAA (Tabela 9), embora as doses de 720 g ha^{-1} e 1080 g ha^{-1} tenham sido suficientes para obter a mesma massa de matéria seca dos tratamentos em mistura (Tabela 10).

Resultados semelhantes foram obtidos por Castro et al. (2017), que ao estudarem a eficácia da mistura de glyphosate e saflufenacil observaram que o uso isolado do herbicida glyphosate não é capaz de controlar satisfatoriamente plantas de trapoeraba (*Comelina ssp.*). Porém ao acrescentarem o herbicida saflufenacil à mistura, proporcionaram melhor controle tanto para plantas de trapoeraba, quanto para corda-de-viola.

Tabela 9. Controle percentual¹ da corda-de-viola (*Ipomoea triloba*) após pulverização de diferentes doses dos herbicidas glyphosate e saflufenacil, isolados ou em mistura, avaliado aos 7, 14 e 28 dias após aplicação. Machado - MG, 2017

Glyphosate (g ha ⁻¹)	Saflufenacil (g ha ⁻¹)			
	0	21	42	63
Avaliação de controle realizada aos 7 dias após aplicação				
0	0,0 C b	97,2 A a	98,2 A a	98,2 A a
360	27,0 B b	98,0 A a	97,4 A a	98,4 A a
720	37,4 A b	97,6 A a	98,2 A a	97,8 A a
1080	34,6 A b	96,2 A a	97,6 A a	97,6 A a
CV = 3,85 F _{int} = 39,703* F _{gly} = 37,252* F _{sfl} = 2845,421*				
Avaliação de controle realizada aos 14 dias após aplicação				
0	0,0 C b	97,2 A a	98,0 A a	99,0 A a
360	47,6 B b	98,2 A a	98,2 A a	98,8 A a
720	74,8 A b	98,2 A a	98,6 A a	99,8 A a
1080	81,6 A b	98,6 A a	99,8 A a	99,6 A a
CV = 6,10 F _{int} = 59,657* F _{gly} = 66,501* F _{sfl} = 406,398*				
Avaliação de controle realizada aos 28 dias após aplicação				
0	0,0 C b	99,2 A a	99,8 A a	100,0 A a
360	53,0 B b	100,0 A a	99,8 A a	100,0 A a
720	88,4 A b	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a
1080	91,4 A b	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a
CV = 4,85 F _{int} = 119,187* F _{gly} = 122,686* F _{sfl} = 461,465*				

¹Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância; *Significativo ao teste F, com 1% de significância.

Tabela 10. Controle percentual e massa de matéria seca¹ da corda-de-viola (*Ipomoea triloba*) após pulverização de diferentes doses dos herbicidas glyphosate e saflufenacil, isolados ou em mistura, avaliados aos 28 dias após aplicação. Machado - MG, 2017

Glyphosate (g ha ⁻¹)	Saflufenacil (g ha ⁻¹)			
	0	21	42	63
Massa de matéria seca mensurada aos 28 dias após aplicação				
0	4,01 A b	0,80 A a	0,80 A a	0,61 A a
360	1,76 B b	0,51 A a	0,62 A a	0,42 A a
720	0,78 C a	0,48 A a	0,49 A a	0,42 A a
1080	0,73 C a	0,56 A a	0,57 A a	0,40 A a
CV = 41,21 F _{int} = 19,484* F _{gly} = 34,743* F _{sfl} = 62,142*				

¹Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância; *Significativo ao teste F, com 1% de significância.

Devido a elevada eficácia das misturas, considerou-se a análise de interação pelo método de Colby apenas aos 7 e 14 DAA, sendo 18 possibilidades de combinação de glyphosate e saflufenacil. Dentre estas 18 possibilidades, para o capim-amargoso, a mistura foi considerada aditiva em 15 casos e antagonista em somente três casos, onde foi aplicada a menor dose de glyphosate (360 g ha⁻¹). Já para a corda-de-viola, a mistura foi considerada aditiva em todas as combinações (Tabelas 11 e 12).

Dalazen et al. (2105) constataram efeitos sinérgicos da mistura de glyphosate e saflufenacil para plantas de buva, este resultado pode ser explicado pelo aumento da absorção foliar e da translocação desses herbicidas (RONCHI et al., 2002), onde em plantas de buva a absorção e translocação pode ter sido melhor facilitada do que em plantas de capim-amargoso e corda-de-viola.

Neste sentido, ressalta-se novamente que o método de Colby (1967) é muito rigoroso e só considera sinergismo os casos em que a mistura resulta em eficácia observada significativamente superior à esperada, o que não ocorreu para os bioindicadores avaliados neste experimento.

Portanto confirma-se que, ao contrário do antagonismo comumente resultante das misturas de glyphosate com inibidores da PROTOX, como o fomesafen e sulfentrazone, a mistura com saflufenacil não ocasiona prejuízos significativos, uma vez que o saflufenacil deve permitir a mobilidade de grande parte do glyphosate absorvido (DALAZEN et al., 2015).

Tabela 11. Análise da interação das misturas de glyphosate e saflufenacil aos 7 e 14 dias após pulverização sobre o capim-amargoso (*Digitaria insularis*). Machado - MG, 2016

Glyphosate (g ha ⁻¹)	Saflufenacil (g ha ⁻¹)								
	21			42			63		
	Obs. ¹	Esp. ²	Int. ³	Obs. ¹	Esp. ²	Int. ³	Obs. ¹	Esp. ²	Int. ³
Análise das misturas aos 7 dias após aplicação - DMS _t = 9,24									
360	53,0	67,4	-	53,6	67,4	-	54,6	71,6	-
720	63,0	65,8	=	65,0	65,8	=	68,6	70,2	=
1080	65,6	64,3	=	72,0	64,3	=	75,0	68,9	=
Análise das misturas aos 14 dias após aplicação - DMS _t = 7,52									
360	88,4	92,7	=	87,8	92,7	=	91,4	94,0	=
720	98,6	91,7	=	98,2	91,8	=	98,6	93,2	=
1080	97,4	90,6	=	97,8	90,7	=	97,8	92,3	=

¹Valores observados; ²Valores esperados; ³Análise da interação, considerando-se teste 't' aplicado com 5% de significância, em que (+) diz respeito à mistura sinérgica, (=) diz respeito à mistura aditiva e (-) diz respeito à mistura antagonista.

Tabela 12. Análise da interação das misturas de glyphosate e saflufenacil aos 7 e 14 dias após pulverização sobre a corda-de-viola (*Ipomoea triloba*). Machado - MG, 2017

Glyphosate (g ha ⁻¹)	Saflufenacil (g ha ⁻¹)								
	21			42			63		
	Obs. ¹	Esp. ²	Int. ³	Obs. ¹	Esp. ²	Int. ³	Obs. ¹	Esp. ²	Int. ³
Análise das misturas aos 7 dias após aplicação - DMS _t = 3,87									
360	98,0	98,0	=	97,4	98,7	=	98,4	98,7	=
720	97,6	98,2	=	98,2	98,9	=	97,8	98,9	=
1080	96,2	98,2	=	97,6	98,8	=	97,6	98,8	=
Análise das misturas aos 14 dias após aplicação - DMS _t = 6,69									
360	98,2	98,5	=	98,2	99,0	=	98,8	99,5	=
720	98,2	99,3	=	98,6	99,5	=	99,8	99,7	=
1080	98,6	99,5	=	99,8	99,6	=	99,6	99,8	=

¹Valores observados; ²Valores esperados; ³Análise da interação, considerando-se teste 't' aplicado com 5% de significância, em que (+) diz respeito à mistura sinérgica, (=) diz respeito à mistura aditiva e (-) diz respeito à mistura antagonista.

5. CONCLUSÕES

1. A aplicação da mistura de glyphosate e metsulfuron-methyl sobre o capim-amargoso foi considerada aditiva em todas as doses utilizadas; já sobre a corda-de-viola, a adição de metsulfuron-methyl à calda de glyphosate eleva o controle da mistura, porém com magnitude aquém da esperada, o que denota caráter antagônico da mistura sobre esta espécie.
2. A aplicação da mistura de glyphosate e saflufenacil sobre o capim-amargoso foi considerada aditiva na maioria das doses utilizadas; já quanto à eficácia sobre a corda-de-viola, a mistura foi considerada aditiva em todas as doses utilizadas.
3. As misturas são uma importante ferramenta para controle de plantas daninhas resistentes e tolerantes, sendo os herbicidas metsulfuron-methyl e saflufenacil importantes moléculas a serem utilizadas em acompanhamento ao herbicida glyphosate.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINETTO, D.; TIRONI, S. P.; GALON, L.; MAGRO, T.D. Desempenho de formulações e doses de glyphosate em soja transgênica. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v.3, n.2, p. 35, 2009.

ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. Efeito de diferentes métodos de controle de plantas daninhas sobre a produção de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) instalados em Latossolo Roxo distrófico. **Ciência Agrotécnica**, v.24, n.1, p.54-61, 2000.

ALCÂNTARA, E. N.; SILVA, F. M. A. Controle de plantas daninhas em cafeeiros com metsulfuron e em mistura com glyphosate. In.: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, 23., Londrina, 2002. **Resumos...** Londrina: SBCPD / Embrapa Clima Temperado, 2002. p.477.

ARIZALETA, M.; ANZALONE, A.; SILVA, A. Efecto del uso de metsulfuron-metil y glifosato sobre malezas asociados a cafetales en Venezuela. **Bioagro**, v.20, n.2, p.79-88, 2008.

BARROSO, A. A. M.; ALBRECHT, A. J. P.; REIS, F. C.; FILHO, R. V. Interação entre herbicidas inibidores da ACCase e diferentes formulações de glyphosate no controle de capim-amargoso. **Planta Daninha**, v.32, n.3, p.619-627, 2014.

BEALE, S. I.; WEINSTEIN, J. D. Tetrapyrrole metabolism in photosynthetic organisms. In: DAILEY, H. A. (Ed.). **Biosynthesis of heme and chlorophyll**. New York: McGraw-Hill, 1990. p. 287-391.

BLACKSHAW, R. E.; HARKER, K. N. Select weed control with glyphosate in glyphosate-resistant spring wheat (*Triticum aestivum*). **Weed Technology**, v.16, n.1, p.1175-1181, 1989.

CARBONARI, C. A.; MARTINS, D.; MARCHI, S. R.; CARDOSO, L. R. Efeito de surfactantes e pontas de pulverização na deposição de calda de pulverização em plantas de grama-seda. **Planta Daninha**, v.23, n.4, p.725-729, 2005.

CARVALHO, S. J. P.; GONÇALVES NETTO, A. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da PROTOX (Grupo E). In.: CHRISTOFFOLETI, P.J.; NICOLAI, M. (Coord.). **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Piracicaba: ESALQ, 2016. p.151-175.

CASTRO, E. B.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D.; BEN, R.; BELAPART, D.; GOMES, G. L. G. C.; MACEDO, G. C. Deposição de calda e eficácia de controle de glyphosate e

saflufenacil associados a adjuvantes. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.16, n.2, p. 103-111, 2017.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; GALLI, A. J. B.; CARVALHO, S. J. P.; MOREIRA, M. S.; NICOLAI, M.; FOLONI, L. L.; MARTINS, B. A. B.; RIBEIRO, D. N. Glyphosate sustainability in South American cropping systems. **Pest Management Science**, v.64, n.4, p.422-427, 2008.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; MEDEIROS, D.; MONQUERO, P. A.; PASSINI, T. Plantas daninhas à cultura da soja: controle químico e resistência a herbicidas. In: CÂMARA, G. M. S. (Coord.). **Soja: Tecnologia da produção**. Piracicaba: ESALQ, 2000. p. 179-202.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; NICOLAI, M.; LÓPEZ-OVEJERO R. F.; BORGATO E. A.; GOLÇASVES NETTO, A.; MELO, M. S. C. Resistência das plantas daninhas a herbicida: termos e definições importantes. In: CHRISTOFFOLETI, P. J.; NICOLAI, M. (Coord.). **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 4.ed. Piracicaba: HRAC-BR, 2016. p. 11-31.

CIUBERKIS, S.; BERNOTAS, S.; RAUDONIS, S.; FELIX, J. Effect of weed emergence time and intervals of weed and crop competition on potato yield. **Weed Technology**, v.21, n.1, p.213-218, 2010.

COLBY, S. R. Calculating synergistic and antagonistic responses of herbicide combinations. **Weeds**, v.15, n.1, p.20-22, 1967.

DALAZEN, G.; KRUSE, N. D.; MACHADO, S. L. O.; BALBINOT, A. Sinergismo na combinação de glifosato e saflufenacil para o controle de buva. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.2, p.249-256, 2015.

FAIRCLOTH, W. H.; PATTERSON, M. G.; MONKS, C. D.; GOODMAN, W. R. Weed management programs for glyphosate-tolerant cotton (*Gossypium hirsutum*). **Weed Technology**, v.15, n.3, p.544-551, 2001.

FAUSEY, J. C.; RENNER, K. R. Physiological basis for CGA-248757 and flumiclorac selectivity in five species. **Weed Science**, v.48, n.4, p.405-411, 2000.

FONTES, J. R. A.; SHIRATSUCHI, L. S.; NEVES, J. L.; JÚLIO, L.; SODRÉ FILHO, J. **Manejo integrado de plantas daninhas**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2003. 48p. Documentos 113.

- GALLI, A. J. B. A molécula glyphosate e a agricultura brasileira. In: VELINI, E.D.; MESCHEDÉ, D. K.; CARBONARI C. A.; TRINDADE, M. L. B. (Coord.). **Glyphosate**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais (FEPAF), 2009. p. 17-19.
- GALON, L.; FERREIRA, E. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, A. A.; VARGAS, L. Tolerância de culturas e plantas daninhas a herbicidas. In: AGOSTINETO, D.; VARGAS, L. (Org.). **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Passo Fundo: Berthier, 2009. p. 37-74.
- GAZZIERO, D. L. P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha**, v.33, n.1, p.83-92, 2015.
- GROSSMANN, K.; HUTZLER, J.; CASPAR, G.; KWIATKOWSKI, J.; BROMMER, C. L. Saflufenacil (Kixor™): Biokinetic properties and mechanism of selectivity of a new protoporphyrinogen IX oxidase inhibiting herbicide. **Weed Science**, v.23, n.3, p.290-298, 2011.
- HAO, G. F.; ZUO, Y.; YANG, S. G.; YANG, G. F. Protoporphyrinogen oxidase inhibitor: an ideal target for herbicide discovery. **Chemistry in China**, v. 65, n. 12, p. 961-969, 2011.
- HARRISON, S. K.; LOUX, M. M. Chemical weed management. In: SMITH, A. E. (Org.). **Handbook of Weed Management Systems**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 101-153.
- HEAP, I. Global perspective of herbicide-resistant weeds. **Pest Management Science**, v.70, n.9, p.1306-1315, 2014.
- HEAP, I. **The international survey of herbicide resistant weeds**. Disponível em: www.weedscience.com. Acesso em: 26 maio 2016.
- INOUE, M. H; DUARTE, J. C. B.; MENDES, K. F.; SZTOLTZ, J.; BEN, R.; PEREIRA, R. L. Eficácia de herbicidas aplicados em plantas adultas de *Crotalaria spectabilis* e *Crotalaria ochroleuca*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.11, n.2, p.148-158, 2012.
- JACOBS, J. M.; JACOBS N. J. Porphyrin accumulation and export by isolated barley (*Hordeum vulgare*) plastids. **Plant Physiology**, v. 101, n. 4, p. 1181-1187, 1993.
- JAWORSKI, E. G. Mode of action of N-phosphonomethylglycine: inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 20, n.6, p. 1195-1198, 1972.

KILINC, O.; REYNAUD, S.; PEREZ, L.; TISSUT, M.; RAVANEL, P. Physiological and biochemical modes of action of the diphenyl ether, acifluorfen. **Pesticide Biochemistry Physiology**, v.39, n.2, p.65-71, 2009.

KLINGMAN, G. C.; ASHTON, F. M.; NOORDHOFF, L. J. **Weed science: principles and practices**. EUA: John Willey & Sons, 1975. p. 89-99.

KUDSK, P.; MATHIASSEM, S. K. Joint action of amino acid biosynthesis-inhibiting herbicides. **Weed Research**, v.44, n.4, p.313-322, 2003.

KUVA, M. A.; PITELLI, R. A.; SALGADO T. P.; ALVES, P. L. C. A. Fitossociologia de comunidades de plantas daninhas em agroecossistema cana-crua. **Planta Daninha**, v.25, n.3, p.501-511, 2007.

LICH, J. M.; RENNER K. A.; PENNER, D. Interaction of glyphosate with postemergence soybean (*Glycine max*) herbicides. **Weed Science**, v.45, n.1, p.12-21, 1997.

LOPEZ-OVEJERO, R. F.; PENCKOWSKI, L. H.; PODOLAN, M. J. CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Alternativas de manejo químico da planta daninha *Digitaria insularis* resistente aos herbicidas inibidores da ACCase na cultura da soja. **Planta Daninha**, v.24, n.2, p.407-414, 2006.

MACIEL, C. D. G.; POLETINE, J. P.; AMSTALDEN, S. L.; GAZZIERO, D. L. P.; RAIMOND, M. A.; LIMA, G. R. G.; OLIVEIRA NETO, A. M.; GUERRA, N.; JUSTINIANO, W. Misturas em tanque com glyphosate para o controle de trapoeraba, erva-de-touro e capim-carrapicho em soja RR[®]. **Revista Ceres**, v.58, n.1, p.35-42, 2011.

MATRINGE, M. J; CAMADRO, J. M.; SCALLA, R. Protoporphyrinogen oxidase as a molecular target for diphenyl ether herbicides. **Biochemistry Journal**, v. 260, n. 1, p. 231-235, 1989.

MELO, M. S. C. **Levantamento de ocorrência, alternativas de manejo, mecanismos de resistência e herança genética do capim-amargoso (*Digitaria insularis*) resistente ao herbicida glyphosate**. Tese (Doutorado em Ciências), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2015. Piracicaba: ESALQ, 2015. 109p.

MOLDES, C. A.; CAMIÑA, J. M.; MEDICI, L. O.; TSAI, S. M.; AZEVEDO, R. A. Physiological effects of glyphosate over amino acid profile in conventional and transgenic soybean (*Glycine max*). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.102, n.2, p.134-141, 2012.

MONQUERO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; DIAS, C. T. S. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da ALS na cultura da soja (*Glycine max*). **Planta Daninha**, v.18, n.3, p.419-425, 2000.

MONQUERO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; SANTOS, C. T. D. Glyphosate em mistura com herbicidas alternativos para o manejo de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.19, n.3, p.375-380, 2001.

MOREIRA, M. S.; MELO, M. S. C.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Herbicidas alternativos para controle de biótipos de *Conyza bonariensis* e *C. canadensis* resistente ao glyphosate. **Planta Daninha**, v.28, n.1, p.167-175, 2010.

PETERSON, D. E. The impact of herbicide-resistant weeds on Kansas agriculture. **Weed Technology**, v.13, n.3, p.632-635, 1999.

QUEIROZ, J. R. G.; SILVA JUNIOR, A. C.; COSTA, A. C. P. R.; MARTINS, D. Eficiência da aplicação da mistura de glyphosate com saflufenacil sobre plantas de *Brachiaria decumbens*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.13, n.1, p.1-7, 2014.

RAMIRES, A. C.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR, R. S.; GUERRA, N.; ALONSO, D. G.; BIFFE, D. F. Control of *Euphorbia heterophylla* and *Ipomoea grandifolia* using glyphosate isolated or in association with broadleaf herbicides. **Planta Daninha**, v. 28, n. 3, p. 621-629, 2010.

RIZZARDI, M. A.; VARGAS, L.; ROMAN, E. S.; KISSMANN, K. Aspectos gerais do manejo e controle de plantas daninhas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. p.107-131.

ROCHA, V. S.; COSTA, A. G. F.; TROVÃO, D. M. B. M.; ZONTA, J. H.; SOFIATTI, V.; MACIEL, C. D. G.; ALMEIDA, H. S. A. Management of volunteer castor bean in the glyphosate-resistant soybean crop. **Planta Daninha**, v.34, n.3, p.545-553, 2016.

RODRIGUES, B. N., ALMEIDA, F. S. **Guia de Herbicidas**. 6.ed. Londrina: Grafmake, 2011. 697p.

RONCHI, C. P.; SILVA, A.A.; MIRANDA, G. V.; FERREIRA, F. R.; TERRA, A. A. Mistura de herbicidas para o controle de plantas daninhas do gênero *Commelina*. **Planta Daninha**, v.20, n.2, p.311-318, 2002.

SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Editora UFV, 2007. 367p

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS - SBCPD. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas.** Londrina: SBCPD, 1995. 42 p.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Herbicidas inibidores da ALS. In: VIDAL, R. A.; MEROTTO JR, A. (Coord.). **Herbicidologia.** Porto Alegre, 2001. p. 25-36.

VARGAS, L.; ADEGAS, F.; GOLÇASVES NETTO, A.; BORGATO E. A.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Resistência das plantas daninhas aos herbicidas inibidores da acetolactato sintase (ALS) (Grupo B). In: CHRISTOFFOLETI, P. J.; NICOLAI, M. (Coord.). **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas.** 4.ed. Piracicaba: HRAC-BR, 2016. p. 99-118.

VARGAS, L.; PEIXOTO, C. M.; ROMAN, E. S. **Manejo de plantas daninhas na cultura do milho.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 20p. Documentos 61.

VIDAL, R. A.; MEROTTO JR, A.; SCHAEGLER, C. E.; LAMEGO, F. P.; PORTUGAL, J.; MENENDES, J.; KOZLOWISKI L. A.; TREZZI, M. M.; PRADO, R. Mecanismos de ação dos herbicidas. In: MONQUERO, P. A. (Coord.). **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas.** São Carlos: RiMa, 2014. p. 235-256.

ZABLOTOWICZ, R. M.; REDDY, K. N. Impact of glyphosate and *Bradyrhizobium japonicum* symbiosis with glyphosate-resistant transgenic soybean: a minireview. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, n.3, p. 825-831, 2004.