

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

RICARDO FERRAZ SILVEIRA

**Caracterização de sinergismo e estudos de absorção e
translocação de mesotrione e atrazine aplicados em associação e
isoladamente em *Ipomoea hederifolia***

Piracicaba

2018

RICARDO FERRAZ SILVEIRA

Caracterização de sinergismo e estudos de absorção e translocação de mesotrione e atrazine aplicados em associação e isoladamente em *Ipomoea hederifolia*

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Valdemar Luiz Tornisielo

Piracicaba

2018

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Silveira, Ricardo Ferraz

Caracterização de sinergismo e estudos de absorção e translocação de mesotrione e atrazine aplicados em associação e isoladamente em *Ipomoea hederifolia* / Ricardo Ferraz Silveira; Valdemar Luiz Tornisielo. - - Piracicaba, 2018.

66 p.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2018.

1. Carbono 14 2. Corda-de-viola (Planta daninha) 3. Herbicidas. 4. Plantas daninhas 5. Radioisótopos 6. Radiotraçadores 7. Sinergismo de herbicidas I. Título.

CDU 632.954 + 632.935.4

Elaborada por:

Marilia Ribeiro Garcia Henyei

CRB-8/3631

Resolução CFB N° 184 de 29 de setembro de 2017

Aos meus amados pais José e Helen, e a todos aqueles que de alguma forma me apoiaram em minha vida.

OFEREÇO E DEDICO.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço a Deus, por toda sabedoria, serenidade, equilíbrio e perseverança a mim concedidos.

- Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo (USP), pela ótima estrutura, que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/ProEx 0227080, pela concessão de apoio financeiro na forma de bolsas de estudo.

- Aos meus pais José Dominguez Silveira e Helen Victoria Ferraz Silveira, por todo amor, carinho e dedicação na minha formação, e por me ensinarem a ser sempre correto e honesto.

- A toda minha família, em especial ao meu irmão Fernando Ferraz Silveira pelo auxílio nos experimentos e ao meu irmão Rafael Ferraz Silveira pelo auxílio com o computador. A ambos agradeço também por toda a amizade e companheirismo ao longo dos anos. Da mesma forma agradeço à minha tia Maria Antônia Victoria Ferraz e ao meu tio José Fernando Victoria Ferraz pela convivência e momentos em família.

- À minha namorada Emmily Larissa Felipe Vidoy, por todo amor, carinho, paciência e companheirismo em todos os momentos tanto de alegria quanto de dificuldade.

- Ao orientador Professor Dr. Valdemar Luiz Tornisielo, primeiramente pela oportunidade de poder realizar o mestrado no Laboratório de Ecotoxicologia, e principalmente pela amizade, orientação e paciência ao transmitir os seus conhecimentos durante todo o mestrado.

- Ao Dr. Kassio Ferreira Mendes, pela amizade, apoio e orientação durante todo o mestrado, além dos conselhos, ideias e ajuda nas análises de resultados, sem os quais a realização deste documento não seria possível.

- À Dra. Fabrícia Cristina dos Reis, pela amizade e conselhos relacionados à execução dos experimentos.

- À amiga e colega Vanessa Takeshita, pela amizade e auxílio durante a execução dos experimentos, e pela ajuda nas análises dos resultados.

- A todos os membros do Laboratório de Ecotoxicologia, pelo companheirismo, amizade e auxílio. Em especial ao Rodrigo Floriano Pimpinato por toda a ajuda durante a execução dos experimentos no laboratório.

- Ao amigo José Bruno Malaquias, pela amizade e orientação na iniciação da minha vida científica.

- Aos amigos da Gloriosa República Gato Preto, por todos os momentos de amizade e descontração desde o início da minha vida acadêmica.

- A todos que não foram citados diretamente, mas que de alguma forma me auxiliaram nesta jornada.

RESUMO

SILVEIRA, R. F. **Caracterização de sinergismo e estudos de absorção e translocação de mesotrione e atrazine aplicados em associação e isoladamente em *Ipomoea hederifolia***. 2018. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

A alteração do sistema de colheita manual para mecanizada em cana-de-açúcar provocou mudanças significativas na flora infestante dos canaviais. Dentre as espécies que antes não eram recorrentes, estão as cordas-de-viola, que preocupam de forma especial pelos problemas ocasionados na operação da colheita, onde causam o embuchamento das colhedoras. Assim, o manejo adequado dessas plantas daninhas é essencial. Dentre os principais herbicidas recomendados para o controle de espécies de corda-de-viola, estão atrazine e mesotrione, que quando aplicados em conjunto apresentam uma interação sinérgica. No entanto, o mecanismo responsável pela interação sinérgica destes herbicidas ainda é desconhecido. Este efeito pode estar relacionado a uma absorção e/ou translocação mais elevada e/ou mais rápida, já que a intensidade dos processos de absorção e translocação de um herbicida afeta a eficácia deste herbicida no controle de plantas daninhas. Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar o sinergismo entre os herbicidas atrazine e mesotrione aplicados em pós-emergência inicial em uma espécie de corda-de-viola (*Ipomoea hederifolia*), além de comparar a absorção e translocação desses herbicidas aplicados em associação e isoladamente. O método utilizado para a caracterização de sinergismo foi o *multiplicative survival model*, e as avaliações realizadas foram avaliação visual de controle e redução de massa seca. Nas avaliações visuais de controle, foi encontrado sinergismo entre os herbicidas em 8 tratamentos aos 7 dias após aplicação (DAA), esse número caiu para 6 tratamentos aos 14 DAA e para 3 tratamentos aos 21 DAA. Esses resultados tornaram possível concluir que a mistura mesotrione+atrazine é sinérgica. Os estudos de absorção e translocação foram realizados por meio da aplicação de ^{14}C -atrazine e ^{14}C -mesotrione isolados e em mistura. Nos períodos de 2, 6, 12, 24, 48, 72 e 96 horas após a aplicação (HAA) as plantas foram divididas em seis partes (folha tratada, folhas acima da folha tratada, folhas abaixo da folha tratada, folhas cotiledonares, caule e raízes). Cada parte foi oxidada utilizando um oxidador biológico, e a radioatividade foi quantificada por espectrometria de cintilação líquida. Quanto à absorção não houve diferenças entre ^{14}C -atrazine e ^{14}C -atrazine+mesotrione, que absorveram 62,56 e 60,02% respectivamente, assim como não houve diferença entre ^{14}C -mesotrione e ^{14}C -mesotrione+atrazine, que absorveram 42,84 e 46,57% respectivamente. Quanto à translocação total, não houve diferença entre ^{14}C -atrazine com 1,87% e ^{14}C -atrazine+mesotrione com 1,51%. Porém o tratamento ^{14}C -mesotrione apresentou translocação superior em relação ao ^{14}C -mesotrione+atrazine, 8,65 e 2,46% respectivamente, demonstrando que a mistura reduziu a translocação do mesotrione. Conclui-se que a interação sinérgica dos herbicidas mesotrione e atrazine em *I. hederifolia* não está relacionada a um aumento da absorção e/ou translocação. A mistura inclusive reduziu a translocação do mesotrione.

Palavras-chave: Corda-de-viola. Mistura de herbicidas. Herbicidas radiomarcados Radioisótopos. Plantas daninhas.

ABSTRACT

SILVEIRA, R. F. **Synergism description and absorption, translocation studies of mesotrione and atrazine applied alone and in mixtures in *Ipomoea hederifolia***. 2018. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

The alteration of the manual harvesting system to the mechanized system in sugarcane caused significant changes in the weed flora of the sugarcane fields. Among the species that were not previously recurrent are the Morning Glories, which are particularly important because of the problems they cause on the harvesting operation, where they jam the harvesters. Therefore, proper management of these weeds is essential. Among the main herbicides recommended for the control of Morning Glories species, are atrazine and mesotrione, which when applied together show a synergistic interaction. However, the mechanism responsible for the synergistic interaction of these herbicides is still unknown. This effect may be related to a higher and/or faster absorption and/or translocation, since the intensity of the absorption and translocation processes of an herbicide affects the effectiveness of this herbicide in the control of weeds. Thus, the objective of this work was to describe the synergism between atrazine and mesotrione herbicides applied in the initial post-emergence of a Morning Glory species (*Ipomoea hederifolia*), while also comparing the absorption and translocation of these herbicides applied alone and in mixture. The method used for the description of synergism was the multiplicative survival model, and the evaluations were visual control and reduction of dry mass. In the visual evaluations of control, synergism was found between the herbicides in 8 treatments at 7 days after application (DAA), this number fell to 6 treatments at 14 DAA and for 3 treatments at 21 DAA. These results make it possible to conclude that the mesotrione+atrazine mixture is synergistic. Absorption and translocation studies were performed by the application of ^{14}C -atrazine and ^{14}C -mesotrione alone and in mixtures. In the 2, 6, 12, 24, 48, 72 and 96 hours after application (HAA) the plants were divided into six parts (treated leaf, leaves above the treated leaf, leaves below the treated leaf, cotyledon leaves, and roots). Each part was oxidized using a biological oxidizer, and the radioactivity was quantified by liquid scintillation spectrometry. Regarding absorption, there were no differences between ^{14}C -atrazine and ^{14}C -atrazine+mesotrione, which absorbed 62.56 and 60.02% respectively, as there was no difference between ^{14}C -mesotrione and ^{14}C -mesotrione+atrazine, which absorbed 42.84 and 46.57% respectively. Regarding total translocation, there was no difference between ^{14}C -atrazine with 1.87% and ^{14}C -atrazine+mesotrione with 1.51%. However, the ^{14}C -mesotrione treatment showed superior translocation in comparison to ^{14}C -mesotrione+atrazine, 8.65 and 2.46% respectively, showing that the mixture reduced the translocation of mesotrione. The results showed that the synergistic interaction of the herbicides mesotrione and atrazine in *I. hederifolia* is not related to higher absorption and/or translocation. The mixture even reduced mesotrione translocation.

Keywords: Morning Glory. Herbicide mixture. Radiolabeled herbicides. Radioisotopes. Weeds.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 4.1 - Absorção total (A) e translocação na folha tratada (B) em % do total aplicado em *Ipomoea hederifolia*. As barras verticais representam o desvio padrão da média.53
- Figura 4.2 - Translocação em *Ipomoea hederifolia*. Translocação total em todas as partes da planta exceto folha tratada (A); Translocação nas folhas acima da folha tratada (B); Translocação nas folhas abaixo da folha tratada (C); Translocação nas folhas cotiledonares (D); Translocação no caule (E); Translocação nas raízes (F). As barras verticais representam o desvio padrão da média.....57
- Figura 4.3 - Autorradiografia de plantas de *Ipomoea hederifolia* após receber ¹⁴C-atrazine (A) e ¹⁴C-atrazine+mesotrione (B). A fotografia da planta prensada está à esquerda e a autorradiografia da translocação na planta à direita.60
- Figura 4.4 - Autorradiografia de plantas de *Ipomoea hederifolia* após receber ¹⁴C-mesotrione (A) e ¹⁴C-mesotrione+atrazine (B). A fotografia da planta prensada está à esquerda e a autorradiografia da translocação na planta à direita.62

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Doses dos herbicidas atrazine e mesotrione por tratamento.	31
Tabela 3.2 - Controle visual observado aos 7, 14 e 21 DAA.....	34
Tabela 3.3 - Efeito da atividade conjunta de diferentes doses de atrazine e mesotrione aplicados em <i>Ipomoea hederifolia</i> calculada por meio da comparação entre controle observado e controle esperado aos 7, 14 e 21 dias após aplicação (DAA).	36
Tabela 3.4 - Massa seca aos 21 DAA.	37
Tabela 3.5 - Efeito da atividade conjunta de diferentes doses dos herbicidas atrazine e mesotrione aplicados em conjunto em <i>Ipomoea hederifolia</i> calculado através da comparação entre porcentagem de massa seca observada e porcentagem de massa seca esperada aos 21 dias após aplicação.....	38
Tabela 4.1 - Herbicidas ¹⁴ C-radiomarcados e suas características.....	47
Tabela 4.2 - Doses dos herbicidas não radiomarcados por tratamento.	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos.....	19
1.1.1 Objetivo geral	19
1.1.2 Objetivos específicos.....	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
REFERÊNCIAS	24
3 CARACTERIZAÇÃO DE SINERGISMO ENTRE OS HERBICIDAS MESOTRIONE E ATRAZINE APLICADOS EM ASSOCIAÇÃO EM <i>Ipomoea hederifolia</i>	27
Resumo.....	27
Abstract.....	28
3.1 Introdução.....	29
3.2 Material e Métodos	30
3.2.1 Delineamento experimental	30
3.2.2 Semeadura e escarificação	31
3.2.3 Aplicação dos tratamentos herbicidas	32
3.2.4 Avaliação de controle visual	32
3.2.5 Avaliação de massa seca	32
3.2.6 Modelo para análise de sinergismo	32
3.2.7 Análise estatística.....	33
3.3 Resultados e Discussão	34
3.3.1 Controle visual.....	34
3.3.2 Massa Seca.....	37
3.4 Conclusões.....	39
Referências	40
4 ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DE MESOTRIONE E ATRAZINE APLICADOS EM ASSOCIAÇÃO E ISOLADAMENTE EM <i>Ipomoea hederifolia</i>	42

Resumo	42
Abstract.....	43
4.1 Introdução	44
4.2 Material e Métodos.....	45
4.2.1 Delineamento experimental	46
4.2.2 Semeadura e escarificação.....	46
4.2.3 Produtos Químicos.....	46
4.2.4 Aplicação dos tratamentos	47
4.2.5 Estudos de absorção e translocação	48
4.2.6 Análise estatística	50
4.2.7 Autorradiografia.....	50
4.3 Resultados e Discussão.....	50
4.3.1 Balanço de Massa.....	50
4.3.2 Absorção	51
4.3.3 Translocação.....	54
4.3.4 Autorradiografia.....	60
4.4 Conclusões	64
Referências.....	64

1. INTRODUÇÃO

Os modelos de produção intensivos praticados atualmente são altamente dependentes de pesticidas, dentre os quais destacam-se os herbicidas, cuja aplicação requer conhecimentos profundos de como estes produtos atuam no controle das plantas daninhas. O uso adequado de herbicidas evita grandes perdas de produtividade, evitando que a cultura sofra com a competição durante os estádios iniciais de desenvolvimento (PROCÓPIO et al., 2003).

A necessidade cada vez maior do controle eficiente das plantas daninhas em largo espectro levou à prática frequente da aplicação de misturas de tanque com dois ou mais herbicidas. Essa prática apesar de ser ilegal no Brasil está em processo de legalização no congresso, pois é realizada frequentemente no campo e extremamente eficaz no controle das plantas daninhas. O uso crescente dessas misturas de tanque na agricultura demanda um entendimento mais aprofundado sobre as interações entre esses herbicidas, para que estes possam ser empregados de maneira correta, a fim de obter resultados satisfatórios no controle de plantas daninhas e evitar o uso inadequado de moléculas herbicidas.

A aplicação de misturas de tanque cuja interação seja desconhecida pode acarretar não só na ineficiência dos herbicidas empregados, mas também em danos ambientais, gerando contaminação do solo, que pode vir a afetar culturas implantadas posteriormente com a permanência dos herbicidas no solo ou até mesmo a contaminação de águas de mananciais e de reservas subsuperficiais por meio dos processos de perda dos herbicidas no ambiente (CHRISTOFFOLETI et al., 2016). Além disso, o uso de misturas de herbicidas com diferentes mecanismos de ação minimiza o risco de surgimento de plantas daninhas tolerantes e/ou resistentes (VARGAS et al., 1999; KRUSE et al., 2000). Essas vantagens decorrem da interação entre os herbicidas (JORDAN; WARREN, 1995). Essas interações entre dois ou mais herbicidas podem ser aditivas, sinérgicas ou antagonísticas.

Encontram-se entre as principais espécies de plantas daninhas encontradas infestando os canaviais brasileiros, aquelas conhecidas popularmente como corda-de-violão, plantas daninhas trepadeiras da família botânica Convolvulaceae pertencentes aos gêneros *Ipomoea* spp. e *Merremia* spp., que preocupam de forma especial e diferenciada pelos problemas ocasionados na operação da colheita, onde causam o embuchamento das colhedoras.

Dentre os herbicidas recomendados para o controle de espécies de corda-de-violão na cultura da cana de açúcar e milho, estão atrazine e mesotrione. Por ser um inibidor do fotossistema II (FSII), o herbicida atrazine exerce a sua ação fitotóxica ligando-se ao sítio de ligação da proteína D1, no qual a quinona B deveria ligar-se para receber os elétrons da quinona A, bloqueando o transporte de elétrons no fotossistema II e causando a morte da planta por estresse oxidativo. O mesotrione é um inibidor da síntese de carotenoides por meio da inibição da enzima p-hidroxifenilpiruvato dioxigenase (HPPD), o que gera de estresse oxidativo, que destrói as membranas das células, levando assim as plantas à morte (KRUSE, 2001). A ação dos herbicidas pertencentes a este grupo resulta na perda de praticamente todos os pigmentos das plantas suscetíveis, resultando numa aparência “albina”.

Como as áreas cultivadas com cana-de-açúcar infestadas por corda-de-violão representam uma grande parte da área total da cultura, a utilização da mistura dos herbicidas atrazine e mesotrione, considerada sinérgica, é recomendada para obtenção de um controle eficiente destas plantas daninhas, já que ao serem empregados isoladamente, estes herbicidas nem sempre apresentam um controle satisfatório (JONES; GRIFFIN, 2009; CORREIA, 2016).

Uma série de estudos foi realizada demonstrando que a mistura entre atrazine e mesotrione aplicada em pós-emergência possui interação sinérgica para o controle de plantas daninhas (SUTTON et al., 2002; ABENDROTH et al., 2006; HUGIE et al., 2008; WOODYARD et al., 2009a; 2009b; KOHRT; SPRAGUE, 2017). No entanto pouco se conhece sobre o mecanismo responsável por essa interação entre as duas moléculas herbicidas.

É possível que este efeito resultante da interação entre essas duas moléculas possa estar relacionado a uma absorção e/ou translocação mais elevada e/ou mais rápida. O herbicida atrazine possui translocação apenas via xilema, enquanto que o herbicida mesotrione possui translocação via xilema e floema.

Como os herbicidas atrazine e mesotrione possuem vias de translocação diferentes, é possível que a associação desses herbicidas afete de alguma forma a translocação da mistura herbicida. A elucidação da interação entre os herbicidas atrazine e mesotrione por meio dos estudos de absorção e translocação nas plantas auxiliarão no entendimento do porque a aplicação da mistura apresenta resultados sinérgicos, ou seja, apresenta controle maior quando comparada à mesma dose dos mesmos herbicidas aplicados isoladamente.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Verificar e caracterizar a interação entre os herbicidas atrazine e mesotrione aplicados em pós-emergência inicial em uma espécie de corda-de-viola (*Ipomoea hederifolia*), verificando se o sinergismo dessa mistura está relacionado a um aumento de absorção e/ou translocação de pelo menos um desses herbicidas. Os resultados presentes neste estudo irão contribuir com a ciência das plantas daninhas elucidando os efeitos da interação destes dois herbicidas nessa importante espécie, o que irá permitir um controle mais eficiente nos sistemas agrícolas onde ela é um problema.

1.1.2 Objetivos específicos

Avaliar o controle visual dos herbicidas atrazine e mesotrione quando aplicados isoladamente e em mistura em *Ipomoea hederifolia*.

Avaliar a redução de massa seca em *Ipomoea hederifolia* provocada pelos herbicidas atrazine e mesotrione quando aplicados isoladamente e em mistura.

Avaliar e comparar a absorção e translocação dos herbicidas atrazine e mesotrione aplicados isoladamente e em mistura por meio do uso de ^{14}C -atrazine e ^{14}C -mesotrione em *Ipomoea hederifolia*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A presença indesejável de determinadas espécies de plantas nos ambientes de produção agrícola infere a elas a denominação de plantas daninhas. Para Radosevich et. al. (1997) a denominação planta daninha é um conceito que varia conforme a interpretação humana de acordo com a situação em que a planta se manifesta. Segundo Lorenzi (2014), qualquer espécie vegetal que cresce onde não é desejada pode ser considerada planta daninha. Pitelli e Pitelli (2004) definem plantas daninhas como as plantas que infestam espontaneamente as áreas de ocupação humana e que não são utilizadas como alimentos, energia, fibras ou forragem, sendo consideradas como indesejáveis.

É de conhecimento geral que qualquer planta, seja esta cultivada ou infestante, retira do ambiente seu suprimento de água, luz e nutrientes, além de ocupar um determinado espaço físico, necessário para o seu crescimento (PITELLI, 1985; DEUBER, 2003).

O grau de competição sofrido pela cultura depende de fatores relacionados com a planta daninha (espécie, densidade, agressividade, distribuição e período de convivência das plantas daninhas durante o ciclo da cultura) e da cultura (variedade, densidade, espaçamento). Todos estes fatores são modificados pelo tipo de solo e condições climáticas. A interferência de plantas daninhas pode causar à cultura grandes perdas na produtividade, seja por meio da concorrência pelos fatores ecofisiológicos essenciais, por serem hospedeiros de pragas e doenças que atacam a cultura, ou até mesmo por dificultarem a colheita e a industrialização da cana (AREVALO, 2002).

As perdas, causadas pela interferência das plantas daninhas na produção são observadas não só na produtividade, mas em outros parâmetros importantes. Nas culturas perenes e semi-perenes, como a cana-de-açúcar, por exemplo, ocorre o decréscimo na longevidade da cultura, queda na qualidade industrial da matéria-prima e dificuldade nas operações de colheita e transporte (PROCÓPIO et al., 2003). Lorenzi (2014) estimou que no Brasil, as perdas ocasionadas pela interferência das plantas daninhas estejam em torno de 20 a 30% da produção.

Nas áreas de produção de cana-de-açúcar, existem relatos de mais de 1000 espécies de plantas daninhas, no entanto é possível destacar cerca de 15 espécies causadoras dos maiores danos em canaviais de todo o mundo (AREVALO, 2002; JADOSKI et al., 2010).

Os problemas ocasionados na operação de colheita mecânica da cana-de-açúcar são relativamente novos, já que no Brasil o sistema de colheita mais comum era o manual, realizado sempre após a queima da cana. No entanto, o Decreto nº 47.700 de 11/3/2003, que regulamenta a Lei nº 11.241 de 19/9/2002, promoveu a proibição parcial da queima de canaviais no Estado de São Paulo, sendo que a proibição da queima na área mecanizável está sendo implantada de forma progressiva: 20, 30, 50, 80 e 100% da área em 2002, 2006, 2011, 2016 e 2021, respectivamente (BRASIL, 2018). Assim, a colheita passou a ser realizada de forma mecanizada em grande parte das áreas de produção.

Nesse sistema de colheita mecanizada sem a queima prévia do canavial, as folhas, bainhas, ponteiro e uma quantidade variável de pedaços de colmo são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo, formando um resíduo vegetal denominado de palha (TRIVELIN et al., 1996). Segundo Velini e Negrisoli (2000) essa quantidade de palha pode superar 20 t ha⁻¹. Essa alteração do sistema de colheita manual para mecanizada promoveu alterações no agroecossistema reduzindo a amplitude térmica e aumentando o teor de água e de matéria orgânica do solo (VASCONCELOS, 2002).

Essas alterações ocasionadas pela permanência de uma camada de palha provocaram mudanças significativas na flora infestante dos canaviais, alterando assim o manejo das plantas daninhas (AZANIA et al., 2009; 2011). Ainda, a camada de palha age como uma barreira física que impede o posicionamento de herbicidas pré-emergentes, dificultando ainda mais esse manejo (FERREIRA et al., 2010).

Monquero et al. (2008) afirmaram que as espécies monocotiledôneas, que possuem menor quantidade de reservas nas sementes, geralmente sofrem os efeitos da deposição de palha sobre o solo de forma mais expressiva do que as plantas eudicotiledôneas, com quantidade maior de reservas. Segundo Pitelli (1998) isso ocorre devido às reservas não serem suficientes para garantir a sobrevivência das plântulas no espaço percorrido dentro da cobertura morta, até que essas plântulas tenham acesso à luz e iniciem o processo fotossintético.

Monquero et al. (2011) conduziram um estudo sobre a influência da palha na dinâmica de banco de sementes, comprovando que a presença de palha favorece o desenvolvimento de espécies eudicotiledôneas. Os autores constataram que na quantidade de palha de 10 t ha⁻¹ os valores de monocotiledôneas variaram de 260 a 1.040 sementes viáveis m⁻², enquanto as eudicotiledôneas ocorreram em maior quantidade e diversidade, com 15.600 a 36.400 sementes viáveis m⁻². No mesmo ensaio, os autores comprovaram que a presença de palha na superfície do solo favoreceu a infestação de *I. grandifolia* e *I. purpurea*.

Dessa forma, o sistema de cana-crua passou a apresentar em sua flora infestante espécies que antes não eram recorrentes. Essas plantas em sua maioria apresentam ciclo de vida anual que termina após a maturação das culturas, com porte herbáceo e de hábito de crescimento trepador, caule cilíndrico, sementes grandes (tendo um teor considerável de estrutura de reserva), dureza no tegumento e longo período de dormência (SILVA, 2014). Após a emergência podem estabelecer competição pelos recursos essenciais como: água, nutrientes, luz e na colheita da cana de açúcar representam um entrave porque prejudicam o desempenho operacional das colhedoras (LORENZI, 1994).

Esses danos podem ser atribuídos ao hábito trepador dessas espécies, que se envolvem nas plantas de cana-de-açúcar ocasionando danos ao seu aparato fotossintético, além de promover o embuchamento da colhedora (AZANIA et al., 2009).

Kuva et al. (2007) estudaram a composição e distribuição da flora de plantas daninhas em cana-de-açúcar e encontraram 15 espécies em 17 áreas, destas 6 eram pertencentes à família Convolvulaceae: *Ipomoea hederifolia*; *I. quamoclit*; *I. nil*; *I. triloba*; *I. purpurea*; *Merremia cissoides*. Estes estudos foram realizados em áreas de colheita mecanizada, destas áreas, cinco apresentaram uma destas espécies como a principal planta daninha. O destaque maior foi para *Ipomoea hederifolia*, que ocupou o segundo lugar quanto à importância relativa nesta lista das 15 espécies, sendo superada apenas por *Cyperus rotundus*.

Segundo Kissmann e Groth (1999), a família Convolvulaceae, possui 55 gêneros com 650 espécies. No entanto, apenas 6 gêneros apresentam espécies infestantes, dentre eles *Ipomoea* spp e *Merremia* spp. Segundo Lorenzi (2014) as plantas desta família são anuais, herbáceas e trepadeiras, com flores vistosas e reprodução por sementes. As cordas-de-viola são nativas da América do Sul,

apresentando ciclo biológico longo que termina após a maturação das culturas, o que normalmente causa problemas na colheita, principalmente em cana-de-açúcar, pois seus ramos se fixam aos colmos da cultura (LABONIA, 2008).

Silva et al. (2009) verificaram que a competição de uma comunidade de plantas do gênero *Ipomoea*, com predomínio de *I. hederifolia*, com a cana-de-açúcar tem potencial de redução do número final de colmos e da produtividade da cultura de 34 e 46%, respectivamente.

Sendo assim, o manejo adequado dessas plantas daninhas é uma das principais ferramentas necessárias para viabilizar o bom desempenho da cana-de-açúcar, principalmente em operações de colheita mecanizada.

REFERÊNCIAS

ABENDROTH, J. A.; MARTIN, A. R.; ROETH, F. W. Plant response to combinations of mesotrione and photosystem II inhibitors. **Weed Technology**, Champaign, v. 20, n. 1, p. 267–274, 2006.

AZANIA, C. A. M. et al. Manejo químico de Convolvulaceae e Euphorbiaceae em cana-de-açúcar em período de estiagem. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 841-848, 2009.

AZANIA, C. A. M.; HIRATA, A. C. S.; AZANIA, A. A. P. M. **Biologia e manejo químico de corda-de-viola em cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2018. 18 p. (Boletim Técnico IAC, 209).

BRASIL. Decreto nº 47.700 de 11 de março de 2003. Regulamenta a Lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002, que dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2003/decreto-47700-11.03.2003.html>> Acesso em: 02 mar. 2018.

CHRISTOFFOLETI, P. J. et al. **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 4. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Ação à Resistência de Plantas Daninhas aos Herbicidas (HRAC), 2016. 262 p.

CORREIA, N. M. Chemical control of morning glory species in sugarcane harvested in the dry and semi-wet seasons. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 333-343, 2016.

DEUBER, R. **Ciência das plantas infestantes: fundamentos**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 452 p.

FERREIRA, E. A. et al. Manejo de plantas daninhas em cana-crua. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 915-925, 2010.

HUGIE, J. A.; BOLLERO, G. A.; TRANEL P. J. Defining the rate requirements for synergism between mesotrione and atrazine in redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*). **Weed Science**, Champaign, v. 56, n. 2, p. 265-270, 2008.

JONES, C. A.; GRIFFIN, J. L. Red morning-glory (*Ipomoea coccinea*) control and competition in sugarcane. **Journal of American Society of Sugar Cane Technologists**, Baton Rouge, v. 29, n. 1, p. 25–53, 2009.

JORDAN, T. N.; WARREN, G. F. Herbicide combinations and interactions. In: **Herbicide Action Course**. Indiana: Purdue University, 1995. p. 238-254.

KOVRT, J. R.; SPRAGUE, C. L. Response of a multiple-resistant Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) population to four HPPD-inhibiting herbicides applied alone and with atrazine. **Weed Science**, Champaign, v. 65, n. 4, p. 534-545, 2017.

KRUSE, N. D. Inibidores da síntese de carotenóides. In: VIDAL, R. A.; MEROTTO JÚNIOR, A. (Ed.). **Herbicidologia**. Porto Alegre: Ed. dos autores, 2001. p.131-122.

KRUSE, N. D.; TREZZI, M. M.; VIDAL, R. R. Herbicidas inibidores de EPSPS: revisão de literatura. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 139-146, 2000.

KUVA, M. A. et al. Fitossociologia de comunidades de plantas daninhas em agroecossistema cana-crua. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 501-511, 2007.

MONQUERO, P. A. et al. Mapas de infestação de plantas daninhas em diferentes sistemas de colheita da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 47-55, 2008.

MONQUERO, P. A.; SILVA, P. V. da; SILVA HIRATA, A. C. Monitoramento do banco de sementes em áreas de cana-de-açúcar colhida mecanicamente. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 107-119, 2011.

LABONIA, V. D. S. **Alguns aspectos de germinação e emergência de cinco espécies de plantas daninhas convulvuláceas e suas susceptibilidades a herbicidas quando aplicados sobre a palha de cana-de-açúcar**. 2008. 80 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas**: plantio direto e convencional. 7. ed. Nova Odessa: Plantarum, 2014. 384 p.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**. 4. ed. Nova Odessa: Plantarum, 1994. 440 p.

PITELLI, R. A. Interferência de plantas infestantes em culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 129, p. 16-32, 1985.

PITELLI, R. A. Plantas daninhas no sistema plantio direto de culturas anuais. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 4, p. 13-18, 1998.

PITELLI, R. A.; PITELLI, R. L. C. M. Biologia e ecofisiologia das plantas daninhas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 29-55.

PROCÓPIO, S. O. et al. **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar**. Viçosa: Suprema, 2003. 150 p.

RADOSEVICH, S.; HOLT, J.; GHERSA, C. **Weed ecology**: implications for management. 2. ed. New York: John Wiley, 1997. 589 p.

SILVA, I. A. B. et al. Interferência de uma comunidade de plantas daninhas com predominância de *Ipomoea hederifolia* na cana-soca. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 265-272, 2009.

SILVA, P. V. **Controle químico e a influência da palha de cana-de-açúcar e da profundidade de semeadura na emergência de plantas daninhas**. 2014. 93 p.

Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

SUTTON, P. et al. Activity of mesotrione on resistant weeds in maize. **Pest Management Science**, West Sussex, v. 58, n. 1, p. 981-984, 2002.

TRIVELIN, P. C. O. et al. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de safra do nitrogênio da aquamônia-15N e uréia-15N aplicado ao solo em complemento a vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 1, p. 89-99, 1996.

VARGAS, L. et al. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Viçosa: Jard, 1999. 131 p.

VASCONCELOS, A. C. M. **Desenvolvimento do sistema radicular da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita**: crua mecanizada e queimada manual. 2002. 140 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2002.

VELINI, E. D.; NEGRISOLI, E. Controle de plantas daninhas em cana crua. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., Foz do Iguaçu, 2000. **Palestras...** Foz do Iguaçu: 2000. p. 148-164.

WOODYARD, A. J.; BOLLERO, G. A.; RIECHERS, D. E. Broadleaf weed management in corn utilizing synergistic postemergence herbicide combinations. **Weed Technology**, Champaign, v. 23, n. 4, p. 513-518, 2009a.

WOODYARD, A. J.; HUGIE, J. A.; RIECHERS, D. E. Interactions of mesotrione and atrazine in two weed species with different mechanisms for atrazine resistance. **Weed Science**, Champaign, v. 57, n. 4, p. 369-378, 2009b.

3. CARACTERIZAÇÃO DE SINERGISMO ENTRE OS HERBICIDAS MESOTRIONE E ATRAZINE APLICADOS EM ASSOCIAÇÃO EM *Ipomoea hederifolia*

Resumo

Quando dois ou mais herbicidas são aplicados em conjunto, os efeitos esperados sobre as plantas daninhas podem ser aditivos, sinérgicos ou antagonísticos. Os herbicidas atrazine e mesotrione aplicados em conjunto apresentam uma interação sinérgica, assim são utilizados para o controle de um amplo espectro de plantas daninhas. Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar e caracterizar o sinérgismo entre os herbicidas atrazine e mesotrione aplicados em pós-emergência inicial em uma espécie de corda-de-viola (*Ipomoea hederifolia*). Foram aplicadas 5 doses do herbicida atrazine (0, 62,5, 125, 250 e 500 g i.a. ha⁻¹) e 5 doses do herbicida mesotrione (0, 10, 20, 40 e 80 g i.a. ha⁻¹) em esquema fatorial 5x5. Para a caracterização de sinérgismo foram realizados dois tipos de avaliação, controle visual e massa seca. As avaliações visuais de controle foram realizadas em 3 períodos, aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA) baseadas nas “Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas” da *Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM)*, enquanto que as avaliações de massa seca foram realizadas apenas aos 21 DAA. Para ambas as avaliações a possibilidade de sinérgismo dos herbicidas mesotrione e atrazine em *Ipomoea hederifolia* foi examinada para cada combinação de doses utilizando o método *multiplicative survival model (MSM)* em que as porcentagens reais de controle obtidas nas avaliações visuais foram comparadas com as porcentagens esperadas de controle, bem como as porcentagens reais de redução de massa seca foram comparadas com as porcentagens esperadas de redução de massa. A comparação entre o controle visual e o controle esperado, mostrou que o efeito sinérgico foi mais facilmente identificado aos 7 DAA, sendo observado sinérgismo em 8 doses de mistura entre atrazine+mesotrione (62,5+20; 125+20; 250+20; 62,5+40; 125+40; 62,5+80; 125+80; 500+80 g i.a. ha⁻¹). Destas, apenas 5 continuaram apresentando efeito sinérgico aos 14 DAA (62,5+20; 125+20; 250+20; 62,5+40; 125+40 g i.a. ha⁻¹). Destas, apenas 2 doses continuaram apresentando efeito sinérgico aos 21 DAA (125+20; 62,5+40 g ha⁻¹). Na avaliação de massa seca, as doses de mistura de atrazine+mesotrione (250+10; 500+10; 500+20; 250+40; 500+40; 250+80; 500+80 g i.a. ha⁻¹) apresentaram efeitos antagonísticos. Apesar dos resultados de massa seca não confirmarem que a interação entre os herbicidas atrazine e mesotrione é sinérgica, a interação entre esses herbicidas pode ser considerada sinérgica por meio dos resultados de controle visual em *Ipomoea hederifolia*, pois esse parâmetro é mais importante para o controle das plantas daninhas. Assim, os estudos confirmaram que essa mistura herbicida é sinérgica para o controle de *Ipomoea hederifolia*.

Palavras-chave: Corda-de-viola. Mistura de herbicidas. Controle visual. Massa seca.

Abstract

When two or more herbicides are applied in mixture on weeds, the possible effects may be additive, synergistic or antagonistic. The herbicides atrazine and mesotrione when applied in mixture show a synergistic interaction, so they are used to control a broad spectrum of weeds. Therefore, the objective of this work was to verify the synergism between atrazine and mesotrione applied in initial post-emergence in a Morning Glory species (*Ipomoea hederifolia*). Five doses of the herbicide atrazine (0, 62.5, 125, 250 and 500 g a.i. ha⁻¹) and 5 doses of the herbicide mesotrione (0, 10, 20, 40 and 80 g a.i. ha⁻¹) were applied in a factorial scheme 5x5. For the characterization of synergism two types of evaluation were performed, visual control and dry mass. The visual evaluations of control were performed in 3 periods at 7, 14 and 21 days after application (DAA), based on the criteria of the "Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas" *Asociación Latinoamericana de Malezas* (ALAM), while dry mass evaluations were performed only at 21 DAA. For both evaluations the possibility of synergism between mesotrione and atrazine herbicides in *Ipomoea hederifolia* was examined for each combination of doses using the multiplicative survival model (MSM) method in which the actual percentages of control obtained in the visual evaluations were compared with the expected percentages of control, as well as the actual percentages of dry mass reduction were compared with the expected percentages of dry mass reduction. The comparison between the visual control and the expected control showed that the synergistic effect was more easily identified at 7 DAA, and synergism was observed in 8 doses between atrazine+mesotrione (62.5+20, 125+20, 250+20, 62.5+40, 125+40, 62.5+80, 125+80, 500+80 g a.i. ha⁻¹). Of these, only 5 continued to show a synergistic effect at 14 DAA (62.5+20, 125+20, 250+20, 62.5+40, 125+40 g a.i. ha⁻¹). Of these, only 2 doses continued to have a synergistic effect at 21 DAA (125+20, 62.5+40 g a.i. ha⁻¹). Regarding the dry mass evaluation, the doses of atrazine + mesotrione (250+10, 500+10, 500+20, 250+40, 500+40, 250+80, 500+80 g ia ha⁻¹) showed antagonistic interactions. Although the dry mass results do not confirm that the interaction between the herbicides atrazine and mesotrione is synergistic, the interaction between these herbicides can be considered synergistic through the visual control results in *Ipomoea hederifolia*, since this parameter is more important for the control of the weeds. Thus, studies have confirmed that this herbicide mixture is synergistic for the control of *Ipomoea hederifolia*.

Keywords: Morning Glory. Herbicide mixture. Visual control. Dry mass.

3.1. Introdução

Quando dois ou mais herbicidas são aplicados em conjunto, os efeitos esperados sobre as plantas daninhas podem ser aditivos, sinérgicos ou antagonísticos.

O efeito sinérgico é o mais desejado na interação de dois ou mais herbicidas, pois ocorre quando o efeito combinado desses herbicidas é maior do que o esperado pela soma dos efeitos desses herbicidas quando aplicados isoladamente. Esse efeito sinérgico pode ser resultado do aumento da absorção foliar e da translocação desses herbicidas, da inibição do metabolismo destes na planta e de interações dos mecanismos de ação dos herbicidas envolvidos (JORDAN; WARREN, 1995).

Sabe-se que atrazine e mesotrione são herbicidas recomendados na cultura da cana-de-açúcar e milho para o controle de plantas daninhas, como as espécies conhecidas como corda-de-viola, em pré e pós-emergência.

Pertencente ao grupo químico das triazinas com o nome químico 2-cloro-4-etilamino-6-isopropilamino-s-triazina, atrazine é um herbicida inibidor do fotossistema II (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). É absorvido predominantemente pelas raízes, mas pode também ser absorvido pelas folhas, neste último caso atua como herbicida de contato, pois sua translocação é via xilema apenas.

O mesotrione é um herbicida inibidor da síntese de carotenoides, do grupo químico das tricetonas de nome químico 2-(4-metil-2-nitrobenzoi) ciclohexano-1,3-diona. É absorvido tanto pelas raízes quanto pelas folhas e ramos, sendo uma molécula consideravelmente móvel na planta, de translocação aposimplástica (via floema e xilema) (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

Uma série de estudos foi realizada demonstrando que a mistura entre atrazine e mesotrione aplicada em pós-emergência possui interação sinérgica para o controle de plantas daninhas (SUTTON et al., 2002; ABENDROTH et al., 2006; HUGIE et al., 2008; WOODYARD et al., 2009a; 2009b; KOHRT; SPRAGUE, 2017). Assim são utilizados para o controle de um amplo espectro de plantas daninhas, enquanto o uso individual destes mesmos herbicidas empregados isoladamente não é recomendado para essa mesma quantidade de espécies. Correia (2016), mostrou que a utilização de mesotrione isolado para controle de espécies de corda-de-viola, resultou em um menor nível de controle dessas espécies ao ser comparado com a utilização da

mistura mesotrione+atrazine. Outro estudo reportou que a aplicação de atrazine isolado, controlou espécies de corda-de-viola em no máximo em 39% (JONES; GRIFFIN, 2009).

Diante desses dados, o objetivo deste trabalho foi verificar e caracterizar o sinergismo entre os herbicidas atrazine e mesotrione aplicados em pós-emergência inicial em uma espécie de corda-de-viola (*Ipomoea hederifolia*).

3.2. Material e Métodos

O experimento foi realizado em casa-de-vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP, conduzido entre os meses de abril a maio de 2018. As análises laboratoriais foram todas realizadas no Laboratório de Ecotoxicologia do CENA/USP, Piracicaba, SP.

As sementes de *Ipomoea hederifolia* foram adquiridas da empresa Agrocósmos Produção e Serviços Rurais Ltda. na cidade de Engenheiro Coelho, SP. Estas foram armazenadas em saco de papel Kraft em câmara seca a 20°C e umidade relativa de 50% no laboratório de análise de sementes na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Piracicaba, SP.

3.2.1. Delineamento experimental

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado com arranjo fatorial 5x5, com 5 doses do herbicida atrazine (0, 62,5, 125, 250 e 500 g i.a. ha⁻¹) e 5 doses do herbicida mesotrione (0, 10, 20, 40 e 80 g i.a. ha⁻¹), totalizando 25 tratamentos conforme Tabela 3.1. Foram realizadas três repetições, totalizando 75 unidades experimentais.

A unidade experimental consistiu em 1 vaso com 3 plantas de *Ipomoea hederifolia*, sendo que cada vaso recebeu 10 sementes para assegurar que ao menos 3 plantas germinassem por vaso, ocorrendo o desbaste das plantas em excesso.

Tabela 3.1 - Doses dos herbicidas atrazine e mesotrione por tratamento

Tratamento	Atrazine (g i.a. ha ⁻¹)	Mesotrione (g i.a. ha ⁻¹)
1	0	0
2	62,5	0
3	125	0
4	250	0
5	500	0
6	0	10
7	62,5	10
8	125	10
9	250	10
10	500	10
11	0	20
12	62,5	20
13	125	20
14	250	20
15	500	20
16	0	40
17	62,5	40
18	125	40
19	250	40
20	500	40
21	0	80
22	62,5	80
23	125	80
24	250	80
25	500	80

3.2.2. Semeadura e escarificação

A semeadura foi efetuada após a realização de escarificação química com ácido sulfúrico concentrado durante 5 minutos. O objetivo principal da escarificação foi quebrar a dormência das sementes, aumentando assim a taxa e a velocidade de germinação. Em estudo realizado por Azania (2003), o uso de ácido sulfúrico durante 5 minutos promoveu aumento na germinação das sementes de *Ipomoea hederifolia* em 76%.

Após lavagem e secagem das sementes escarificadas, estas foram colocadas a 1 cm de profundidade em substrato vegetal, contido em vasos de plástico de 250 mL.

3.2.3. Aplicação dos tratamentos herbicidas

A aplicação dos 25 tratamentos herbicidas ocorreu cerca de 15 dias após a semeadura, quando as plantas apresentavam entre duas a quatro folhas verdadeiras.

Os herbicidas foram pulverizados em câmara de aplicação de herbicidas do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP, com velocidade constante calibrada para um volume de calda de 250 L ha⁻¹ e pressão de 35 psi. A ponta de pulverização utilizada foi do tipo leque, com jato plano, modelo XR 80.02, com 50 cm acima da plataforma de aplicação. Todos os tratamentos receberam a aplicação de adjuvante Assist a 0,5% da calda.

3.2.4. Avaliação de controle visual

As avaliações visuais de controle foram realizadas em 3 períodos, aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA), baseadas nas “Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas” da *Asociación Latinoamericana de Malezas* (1974), que utiliza uma escala percentual de notas, onde 0% corresponde à ausência de controle e 100% ao controle total.

3.2.5. Avaliação de massa seca

Aos 21 DAA as plantas foram cortadas rente ao solo e colocadas em sacos de papel, sendo posteriormente colocados em uma câmara de circulação de ar a 60 °C por 48 horas a fim de se obter a massa seca da parte aérea.

Os dados de massa seca foram corrigidos para valores percentuais, onde as parcelas que não receberam aplicação de nenhum herbicida corresponderam a 100% de massa seca, enquanto as demais parcelas apresentarem percentuais destes valores, em consequência da redução de massa decorrente da aplicação dos herbicidas.

3.2.6. Modelo para análise de sinergismo

Para explorar a possibilidade de sinergismo em *Ipomoea hederifolia*, a associação dos herbicidas mesotrione e atrazine foi examinada para cada

combinação de doses utilizando o método *multiplicative survival model* (MSM) (GOWING, 1960; COLBY, 1967; FLINT et al., 1988), em que as porcentagens reais de controle obtidas nas avaliações visuais foram comparadas com as porcentagens esperadas obtidas utilizando-se a equação 1:

$$Y = Mi + Aj - (Mi \times Aj)/100 \quad (1)$$

em que Y é a porcentagem de controle visual esperada para o tratamento, M_i é a porcentagem de controle visual obtido na aplicação de mesotrione isolado na dose i e A_j é a porcentagem de controle visual obtido na aplicação de atrazine isolado na dose j .

O mesmo método foi utilizado para as avaliações de biomassa, em que as porcentagens reais obtidas da massa seca foram comparadas com as porcentagens esperadas obtidas por meio da equação 2

$$Y = (Mi \times Aj)/100 \quad (2)$$

em que Y é a porcentagem de biomassa esperada para o tratamento, M_i é a porcentagem de biomassa obtida na aplicação de mesotrione isolado na dose i e A_j é a porcentagem de biomassa obtida na aplicação de atrazine isolado na dose j .

Tanto nas avaliações de controle visual quanto nas avaliações de massa seca, quando o resultado observado e o valor esperado foram iguais, o efeito da associação foi aditivo.

No controle visual, quando o controle observado foi inferior ao esperado, o efeito da associação foi antagonístico, e quando o controle observado foi superior ao esperado, o efeito da associação foi sinérgico.

Já para os resultados de porcentagem de massa seca, quando o resultado observado foi inferior ao esperado, o efeito da associação foi sinérgico, e quando o resultado observado foi superior ao esperado, o efeito da associação foi antagonístico.

3.2.7. Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste t bicaudal ($p=0,05$), para detectar as diferenças entre os resultados observados e os valores esperados para cada combinação de doses.

3.3. Resultados e Discussão

3.3.1 Controle visual

O controle visual por tratamento pode ser observado na Tabela 3.2

Tabela 3.2 - Controle visual observado aos 7, 14 e 21 DAA

Atrazine (g i.a. ha ⁻¹)	Mesotrione (g i.a. ha ⁻¹)	Controle visual		
		7 DAA (%)	14 DAA (%)	21 DAA (%)
0	0	0	0	0
62,5	0	16,6	31,6	33,3
125	0	30,0	33,3	33,3
250	0	48,3	55,0	55,0
500	0	66,6	96,6	100,0
0	10	38,3	73,3	80,0
62,5	10	48,3	75,0	88,3
125	10	53,3	83,3	91,7
250	10	58,3	95,0	100,0
500	10	70,0	98,3	100,0
0	20	40,0	78,3	93,3
62,5	20	58,3	90,0	95,7
125	20	66,7	96,7	99,0
250	20	76,7	98,3	99,0
500	20	78,3	98,3	99,0
0	40	45,0	88,3	94,0
62,5	40	65,0	98,3	100,0
125	40	75,0	100,0	100,0
250	40	75,0	98,3	100,0
500	40	78,3	100,0	100,0
0	80	55,0	96,6	98,0
62,5	80	70,0	98,3	99,0
125	80	80,0	100,0	100,0
250	80	83,3	100,0	100,0
500	80	95,0	100,0	100,0

A comparação entre o controle visual e o controle esperado, mostrou que o efeito sinérgico foi mais facilmente identificado aos 7 DAA, sendo observado sinérgico em 8 doses de mistura entre atrazine+mesotrione (62,5+20; 125+20; 250+20; 62,5+40; 125+40; 62,5+80; 125+80; 500+80 g i.a. ha⁻¹). Destas, apenas 5

continuaram apresentando efeito sinérgico aos 14 DAA (62,5+20; 125+20; 250+20; 62,5+40; 125+40 g i.a. ha⁻¹). Destas, apenas 2 doses continuaram apresentando efeito sinérgico aos 21 DAA (125+20; 62,5+40 g ha⁻¹) (Tabela 3.3)

Walsh et al. (2012) afirmaram que o efeito sinérgico entre atrazine e mesotrione é mais evidente em combinações de doses mais baixas. Utilizando doses tão baixas quanto 0,5 g i.a. ha⁻¹ de mesotrione e 25 g i.a. ha⁻¹ de atrazine, os autores encontraram uma mortalidade inferior a 10% quando os herbicidas foram aplicados isoladamente nessas concentrações, porém quando aplicados em mistura causaram uma mortalidade de 47%.

Um estudo conduzido por Correia (2016), mostrou que a utilização de mesotrione isolado (0,192 kg ha⁻¹) para controle de espécies de corda-de-viola, resultou em um menor nível de controle dessas espécies ao ser comparado com a utilização da mistura mesotrione+atrazine (0,12 + 1,5 kg ha⁻¹, respectivamente). A diferença mais crítica foi em *Merremia aegyptia*, onde o controle foi de apenas 37,5% para mesotrione aplicado isolado enquanto que para a mistura mesotrione+atrazine o controle foi de 98,1%, com avaliações realizadas 120 dias após a aplicação. Outro estudo reportou que a aplicação de atrazine isolado, mesmo em doses elevadas de até 2,24 kg ha⁻¹, controlaram espécies de corda-de-viola em no máximo em 39% (JONES; GRIFFIN, 2009).

A dose de atrazine + mesotrione (250+10 g i.a. ha⁻¹) apresentou apenas efeito aditivo aos 7 DAA, porém aos 14 e 21 DAA esta dose passou a apresentar efeito sinérgico. Esta diferença pode ter ocorrido pelo fato de que a dose 250 g i.a. ha⁻¹ de atrazine aplicada isoladamente apresentou um controle elevado de 48,3% já aos 7 DAA, porém este controle se manteve praticamente constante aos 14 e 21 DAA, apresentando 55,0% de controle em ambos os períodos (Tabela 3.2), enquanto que a dose atrazine + mesotrione (250+10 g i.a. ha⁻¹) apresentou aumento significativo do controle no decorrer dos períodos de avaliação, sendo de 58,3; 95,0 e 100,0% aos 7, 14 e 21 DAA respectivamente (Tabela 3.3)

O mesmo pode ter ocorrido com a dose de atrazine + mesotrione (500+10 g i.a. ha⁻¹), que surpreendentemente apresentou efeito antagonístico aos 7 DAA, no entanto passou a apresentar efeito aditivo aos 14 e 21 DAA (Tabela 3.3)

Tabela 3.3 - Efeito da atividade conjunta de diferentes doses de atrazine e mesotrione aplicados em *Ipomoea hederifolia* calculada por meio da comparação entre controle observado e controle esperado aos 7, 14 e 21 dias após aplicação (DAA)

Dose do herbicida (g i.a. ha ⁻¹)		Controle aos 7 DAA		Valor P	Efeito da Atividade Conjunta	Controle aos 14 DAA		Valor P	Efeito da Atividade Conjunta	Controle aos 21 DAA		Valor P	Efeito da Atividade Conjunta
Atrazine	Mesotrione	Observado (%)	Esperado (%)			Observado (%)	Esperado (%)			Observado (%)	Esperado (%)		
62,5	10	48,3	48,6	0,967	Aditivo	75,0	81,7	0,143	Aditivo	88,3	86,6	0,422	Aditivo
125	10	53,3	56,8	0,403	Aditivo	83,3	82,2	0,770	Aditivo	91,7	86,6	0,272	Aditivo
250	10	58,3	67,1	0,052	Aditivo	95,0	88,0	0,006	Sinergístico	100,0	91,0	0,004	Sinergístico
500	10	70,0	79,4	0,014	Antagonístico	98,3	99,1	0,686	Aditivo	100,0	100,0	1,000	Aditivo
62,5	20	58,3	50,0	0,034	Sinergístico	90,0	85,1	0,014	Sinergístico	95,7	95,5	0,882	Aditivo
125	20	66,7	58,0	0,035	Sinergístico	96,7	85,5	0,021	Sinergístico	99,0	95,5	0,027	Sinergístico
250	20	76,7	68,0	0,036	Sinergístico	98,3	90,2	0,039	Sinergístico	99,0	97,0	0,183	Aditivo
500	20	78,3	80,0	0,422	Aditivo	98,3	99,2	0,628	Aditivo	99,0	100,0	0,422	Aditivo
62,5	40	65,0	54,2	0,042	Sinergístico	98,3	92,0	0,034	Sinergístico	100,0	96,0	0,039	Sinergístico
125	40	75,0	61,5	0,001	Sinergístico	100,0	92,2	0,005	Sinergístico	100,0	96,0	0,053	Aditivo
250	40	75,0	70,6	0,265	Aditivo	98,3	94,7	0,164	Aditivo	100,0	97,3	0,115	Aditivo
500	40	78,3	81,7	0,183	Aditivo	100,0	99,6	0,523	Aditivo	100,0	100,0	1,000	Aditivo
62,5	80	70,0	62,5	0,005	Sinergístico	98,3	97,7	0,749	Aditivo	99,0	98,6	0,770	Aditivo
125	80	80,0	68,5	0,002	Sinergístico	100,0	97,8	0,061	Aditivo	100,0	98,6	0,183	Aditivo
250	80	83,3	76,0	0,058	Aditivo	100,0	98,5	0,121	Aditivo	100,0	99,1	0,225	Aditivo
500	80	95,0	85,0	0,003	Sinergístico	100,0	99,9	0,422	Aditivo	100,0	100,0	1,000	Aditivo

3.3.6. Massa Seca

A porcentagem de massa seca por tratamento pode ser observada na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Massa seca aos 21 DAA

Atrazine (g i.a. ha⁻¹)	Mesotrione (g i.a. ha⁻¹)	Massa Seca 21 DAA (%)
0	0	100
62,5	0	56,5
125	0	56,9
250	0	26,4
500	0	19,1
0	10	25,5
62,5	10	22,7
125	10	18,3
250	10	16,3
500	10	10,7
0	20	24,7
62,5	20	20,1
125	20	16,1
250	20	13,6
500	20	14,5
0	40	24,3
62,5	40	12,8
125	40	11,5
250	40	13,2
500	40	12,6
0	80	20,2
62,5	80	15,7
125	80	10,2
250	80	10,1
500	80	7,4

Apesar da avaliação de controle visual ter mostrado evidências de sinergismo entre atrazine e mesotrione, as porcentagens de massa seca nas mesmas doses apresentaram somente efeitos aditivos ou até mesmo antagonísticos (Tabela 3.5).

As doses de mistura de atrazine + mesotrione (250+10; 500+10; 500+20; 250+40; 500+40; 250+80; 500+80 g i.a. ha⁻¹) apresentaram efeitos antagonísticos na avaliação de massa seca. É possível observar que esse antagonismo sempre ocorreu nas duas maiores doses de atrazine (Tabela 3.5).

Os autores Walsh et al. (2012) encontraram resultados similares ao estudar o sinergismo entre atrazine e mesotrione em rabanete selvagem (*Raphanus raphanistrum*), pois em seus estudos encontraram sinergismo em várias combinações de doses ao avaliar porcentagem de sobrevivência, no entanto encontraram apenas efeito aditivo e antagonístico ao avaliar a massa seca. Os autores concluíram que os resultados de sobrevivência são mais importantes do que os de massa seca quando se deseja estudar sinergismo, pois este parâmetro é mais importante no controle de plantas daninhas.

Tabela 3.5 - Efeito da atividade conjunta de diferentes doses dos herbicidas atrazine e mesotrione aplicados em conjunto em *Ipomoea hederifolia* calculado através da comparação entre porcentagem de massa seca observada e porcentagem de massa seca esperada aos 21 dias após aplicação

Dose Herbicida (g i.a. ha ⁻¹)		Massa seca		Valor P	Efeito da Atividade Conjunta
Atrazine	Mesotrione	Observada (%)	Esperada (%)		
62,5	10	22,7	14,4	0,208	Aditivo
125	10	18,3	14,5	0,228	Aditivo
250	10	16,3	6,7	0,005	Antagonístico
500	10	10,7	4,9	0,017	Antagonístico
62,5	20	20,1	14,0	0,123	Aditivo
125	20	16,1	14,1	0,257	Aditivo
250	20	13,6	6,5	0,073	Aditivo
500	20	14,5	4,7	0,013	Antagonístico
62,5	40	12,8	13,7	0,831	Aditivo
125	40	11,5	13,8	0,439	Aditivo
250	40	13,2	6,4	0,007	Antagonístico
500	40	12,6	4,6	0,008	Antagonístico
62,5	80	15,7	11,4	0,242	Aditivo
125	80	10,2	11,5	0,598	Aditivo
250	80	10,1	5,3	0,047	Antagonístico
500	80	7,4	3,9	0,030	Antagonístico

É importante ressaltar que a massa seca das plantas avaliadas não chegou a 0% em nenhum tratamento avaliado (Tabela 3.4), pelo fato de que após morrerem as plantas praticamente deixaram de perder massa seca. Todos os tratamentos com mistura atrazine + mesotrione, exceto 62,5+10 g i.a. ha⁻¹, levaram a morte das plantas aos 21 DAA. Isso também ocorreu no tratamento em que atrazine foi aplicada isoladamente na dose 500 g i.a. ha⁻¹, e com os tratamentos em que o mesotrione foi aplicado isoladamente nas doses 20, 40 e 80 g i.a. ha⁻¹. Essa mortalidade em praticamente todas as doses de mesotrione isolado provocou resultados similares na redução de massa seca, tanto para os tratamentos com herbicidas isolados quanto para os tratamentos com os herbicidas aplicados em associação, não sendo possível demonstrar sinergismo por meio dos estudos de massa seca, similar ao ocorrido nos estudos dos autores Walsh et al. (2012).

Apesar dos resultados de massa seca não confirmarem que a interação entre os herbicidas atrazine e mesotrione é sinérgica, a interação entre esses herbicidas pode ser considerada sinérgica por meio dos resultados de controle visual em *Ipomoea hederifolia*. Esses resultados corroboram que essa mistura herbicida é de fato sinérgica, tendo sido relatado na literatura o sinergismo para diversas espécies, como erva-de-santiago gigante (*Ambrosia trifida*), fedegoso (*Chenopodium álbum*), folha de veludo (*Abutilon theophrasti*), e espécies de caruru (*Amaranthus tuberculatus*, *Amaranthus retroflexus* e *Amaranthus palmeri*) (ABENDROTH et al., 2006; HUGIE et al., 2008; WOODYARD et al., 2009a; 2009b; KOHRT; SPRAGUE, 2017), todas por meio do método MSM.

3.4. Conclusões

A caracterização do sinergismo entre os herbicidas mesotrione e atrazine aplicados em *Ipomoea hederifolia* se mostrou bastante complexa, devido às respostas variadas obtidas nas diferentes doses utilizadas, e também devido à variação entre as metodologias de avaliação utilizadas, pois os resultados da interação entre esses herbicidas variaram entre efeito antagonístico, aditivo e sinérgico.

A escolha das doses de atrazine e mesotrione, assim como o período (dias) e o método de avaliação (controle visual, massa seca) podem afetar os resultados da interação e dificultar a caracterização de sinergismo de forma considerável.

Os resultados de massa seca não demonstraram o sinergismo entre atrazine e mesotrione no controle de *Ipomoea hederifolia*. No entanto os resultados de controle visual demonstraram que existe sinergismo entre esses dois herbicidas no controle dessa espécie, sendo esse método de avaliação mais adequado para a caracterização de sinergismo, pois é o parâmetro mais importante no controle das plantas daninhas.

Esta pesquisa é importante não só para verificar a interação sinérgica entre atrazine e mesotrione em *Ipomoea hederifolia*, mas também para constatar que essa mistura herbicida controla essa espécie com a aplicação de doses bem mais baixas em relação ao recomendado no campo. Tal conhecimento é fundamental para a elaboração de estratégias de controle, auxiliando na escolha de doses mais eficientes às empregadas atualmente e na prevenção dos impactos ambientais causados pelo emprego de doses inadequadas.

Estudos subsequentes com doses menores dessa mistura herbicida poderão auxiliar na redução da dose recomendada.

Referências

ABENDROTH, J. A.; MARTIN, A. R.; ROETH, F. W. Plant response to combinations of mesotrione and photosystem II inhibitors. **Weed Technology**, Champaign, v. 20, n. 1, p. 267–274, 2006.

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

CORREIA, N. M. Chemical control of morning glory species in sugarcane harvested in the dry and semi-wet seasons. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 333-343, 2016.

FLINT, J. L.; CORNELIUS, P. L.; BARRETT, M. Analyzing herbicide interactions: a statistical treatment of Colby's method. **Weed Technology**, Champaign, v. 2, n. 3, p. 304-309, 1988.

GOWING, D. P. Comments on tests of herbicide mixtures. **Weeds**, Urbana, v. 8, n. 3, p. 379-391, 1960.

HUGIE, J. A.; BOLLERO, G. A.; TRANEL P. J. Defining the rate requirements for synergism between mesotrione and atrazine in redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*). **Weed Science**, Champaign, v. 56, n. 2, p. 265-270, 2008.

JONES, C. A.; GRIFFIN, J. L. Red morning-glory (*Ipomoea coccinea*) control and competition in sugarcane. **Journal of American Society of Sugar Cane Technologists**, Baton Rouge, v. 29, n. 1, p. 25–53, 2009.

JORDAN, T. N.; WARREN, G. F. Herbicide combinations and interactions. In: **Herbicide Action Course**. Indiana: Purdue University, 1995. p. 238-254.

KOVRT, J. R.; SPRAGUE, C. L. Response of a multiple-resistant Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) population to four HPPD-inhibiting herbicides applied alone and with atrazine. **Weed Science**, Champaign, v. 65, n. 4, p. 534-545, 2017.

RECOMENDACIONES sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. Asociación Latinoamericana de Malezas - ALAM, Bogota, v. 1, n. 1, p. 35-38, 1974.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina: IAPAR, 2011. 696 p.

WALSH, M. et al. Synergistic effects of atrazine and mesotrione on susceptible and resistant wild radish (*Raphanus raphanistrum*) populations and the potential for overcoming resistance to triazine herbicides. **Weed Technology**, Champaign, v. 26, n. 2, p. 341-347, 2012.

WOODYARD, A. J.; BOLLERO, G. A.; RIECHERS, D. E. Broadleaf weed management in corn utilizing synergistic postemergence herbicide combinations. **Weed Technology**, Champaign, v. 23, n. 4, p. 513-518, 2009a.

WOODYARD, A. J.; HUGIE, J. A.; RIECHERS, D. E. Interactions of mesotrione and atrazine in two weed species with different mechanisms for atrazine resistance. **Weed Science**, Champaign, v. 57, n. 4, p. 369-378, 2009b.

4. ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DE MESOTRIONE E ATRAZINE APLICADOS EM ASSOCIAÇÃO E ISOLADAMENTE EM *Ipomoea hederifolia*

Resumo

Os herbicidas atrazine e mesotrione aplicados em conjunto são relatados como possuindo uma interação sinérgica, assim são utilizados para o controle de um amplo espectro de plantas daninhas. No entanto, o mecanismo responsável pela interação sinérgica destes herbicidas ainda é desconhecido. Este efeito pode estar relacionado a uma absorção e/ou translocação mais elevada e/ou mais rápida, já que a intensidade dos processos de absorção e translocação de um herbicida afeta a eficácia deste herbicida no controle de plantas daninhas, pois é necessário que o herbicida atinja o sítio de ação em concentração suficiente para causar a morte da planta. O objetivo desse trabalho foi avaliar e comparar a absorção e translocação dos herbicidas mesotrione e atrazine aplicados em associação e isoladamente em uma população de corda-de-viola (*Ipomoea hederifolia*). Quando as plantas apresentavam de 2 a 4 folhas verdadeiras, a segunda folha verdadeira foi coberta e foi realizada a aplicação foliar de herbicida não radiomarcado na dose de 80 g i.a. ha⁻¹ para mesotrione no tratamento isolado e nas misturas, e de 500 g i.a. ha⁻¹ para atrazine no tratamento isolado e nas misturas. Foram preparadas quatro soluções radiomarcadas, sendo ¹⁴C-atrazine, ¹⁴C-atrazine+mesotrione, ¹⁴C-mesotrione e ¹⁴C-mesotrione+atrazine, configurando assim os 4 tratamentos. As folhas foram descobertas e em seguida foram aplicadas 16 gotas de 1,0 µL cada por planta com a solução radiomarcada equivalente, sendo considerada folha tratada. Nos períodos de 2, 6, 12, 24, 48, 72 e 96 horas após a aplicação (HAA) as plantas foram retiradas do vaso e divididas em seis partes (folha tratada, folhas acima da folha tratada, folhas abaixo da folha tratada, folhas cotiledonares, caule e raízes). Cada parte foi oxidada utilizando um oxidador biológico, e a radioatividade foi quantificada por espectrometria de cintilação líquida. Também foram realizados estudos qualitativos de translocação com o uso de autorradiografia. Quanto à absorção, houve diferença entre os herbicidas atrazine e mesotrione, no entanto não houve diferenças entre ¹⁴C-atrazine e ¹⁴C-atrazine+mesotrione, que absorveram 62,56 e 60,02% respectivamente, assim como não houve diferença entre ¹⁴C-mesotrione e ¹⁴C-mesotrione+atrazine, que absorveram 42,84 e 46,57% respectivamente. Quanto à translocação total, não houve diferença entre ¹⁴C-atrazine com 1,87% e ¹⁴C-atrazine+mesotrione com 1,51%. Porém o tratamento ¹⁴C-mesotrione apresentou translocação superior em relação ao ¹⁴C-mesotrione+atrazine, 8,65 e 2,46% respectivamente, demonstrando que a mistura reduziu a translocação do herbicida. Conclui-se que a interação sinérgica dos herbicidas mesotrione e atrazine em *I. hederifolia* não está relacionada a um aumento da absorção e/ou translocação. A mistura inclusive reduziu a translocação do mesotrione.

Palavras-chave: Corda-de-viola. Sinergismo. Mistura de herbicidas. Radioisótopos. Herbicidas radiomarcados.

Abstract

The herbicides atrazine and mesotrione when applied in mixture show a synergistic interaction, so they are used to control a broad spectrum of weeds. However, the mechanism responsible for the synergistic interaction of these herbicides is still unknown. This effect may be related to a higher and/or faster absorption and/or translocation, since the intensity of the absorption and translocation processes of an herbicide affects the effectiveness of this herbicide in the control of weeds, because it is necessary that the herbicide reaches the site of action in sufficient concentration to cause the death of the weed. The objective of this study was to evaluate and compare the absorption and translocation of the herbicides mesotrione and atrazine applied alone and in mixture in a Morning Glory species (*Ipomoea hederifolia*). When plants had 2 to 4 true leaves, the second true leaf was covered and foliar application of non-radiolabeled herbicide at the dose of 80 g a.i. ha⁻¹ for mesotrione in the treatment alone and in the mixtures, and 500 g a.i. ha⁻¹ for atrazine in the alone treatment and in mixtures. Four radiolabeled solutions were prepared, ¹⁴C-atrazine, ¹⁴C-atrazine+mesotrione, ¹⁴C-mesotrione and ¹⁴C-mesotrione+atrazine, thus configuring the 4 treatments. The leaves were uncovered and considered as treated leaf after 16 droplets, of 1.0 µL, were applied per plant with the equivalent radiolabeled solution. At 2, 6, 12, 24, 48, 72 and 96 hours after application (HAA) the plants were cut and divided into six parts (treated leaf, leaves above the treated leaf, leaves below the treated leaf, cotyledon leaves, stem and roots). Each part was oxidized using a biological oxidizer, and the radioactivity was quantified by liquid scintillation spectrometry. Qualitative studies of translocation with the use of autoradiography were also performed. Regarding absorption, there was a difference between atrazine and mesotrione herbicides, however, there were no differences between ¹⁴C-atrazine and ¹⁴C-atrazine+mesotrione, which absorbed 62.56 and 60.02% respectively, as there was no difference between ¹⁴C-mesotrione and ¹⁴C-mesotrione+atrazine, which absorbed 42.84 and 46.57% respectively. Regarding total translocation, there was no difference between ¹⁴C-atrazine with 1.87% and ¹⁴C-atrazine+mesotrione with 1.51%. However, the ¹⁴C-mesotrione treatment showed superior translocation in comparison to ¹⁴C-mesotrione+atrazine, 8.65 and 2.46% respectively, demonstrating that the mixture reduced the translocation of the herbicide. The results showed that the synergistic interaction of the herbicides mesotrione and atrazine in *I. hederifolia* is not related to higher absorption and/or translocation. The mixture even reduced mesotrione translocation.

Keywords: Morning Glory. Synergism. Herbicide mixture. Radioisotopes. Radiolabeled herbicides.

4.1. Introdução

A grande extensão de áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar infestadas pelas plantas daninhas da família Convolvulacea, ou simplesmente cordas-de-viola (*Ipomoea* spp.), nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste exigem que estas sejam controladas de maneira eficiente.

A utilização dos herbicidas atrazine e mesotrione tem sido uma alternativa de controle viável das cordas-de-viola por muitos anos, principalmente porque ambos os herbicidas são seletivos para as culturas da cana-de-açúcar e do milho (MITCHELL et al., 2001), que são as culturas que sofrem mais com infestações dessas plantas. No entanto são geralmente empregados em conjunto com o objetivo de ampliar o espectro de controle.

O uso crescente de misturas de tanque de herbicidas na agricultura demanda um entendimento mais aprofundado sobre as interações entre esses herbicidas. Os herbicidas atrazine e mesotrione aplicados em conjunto são relatados na literatura como possuindo uma interação sinérgica no controle de diversas espécies de plantas daninhas (ABENDROTH et al., 2006; HUGIE et al., 2008; WOODYARD et al., 2009a; 2009b; KOHRT; SPRAGUE, 2017), assim são utilizados para o controle de um amplo espectro de plantas daninhas.

No entanto, o mecanismo responsável pela interação sinérgica destes herbicidas ainda é desconhecido. É possível que este efeito resultante da interação entre essas duas moléculas possa estar relacionado a uma absorção e/ou translocação mais elevada e/ou mais rápida.

Para os herbicidas aplicados na parte aérea das plantas (pós-emergentes), a absorção por meio das folhas constitui o principal sítio de entrada. A absorção foliar de um herbicida requer que o produto seja depositado sobre a folha e permaneça no local por um período de tempo suficiente, até ser totalmente absorvido (SILVA et al., 2007).

A atividade biológica de um herbicida na planta é função da absorção, da translocação, do metabolismo e da sensibilidade da planta a este herbicida e, ou, a seus metabólitos. Por isso, o simples fato de um herbicida atingir as folhas da planta não é suficiente para que ele exerça a sua ação. Há necessidade de que ele penetre na planta, transloque e atinja a organela onde irá atuar (SILVA et al., 2007).

O herbicida atrazine possui translocação apenas via xilema, enquanto que o herbicida mesotrione possui translocação via xilema e floema. A translocação via floema é um aspecto importante na atividade de muitos herbicidas. Aqueles aplicados às folhas podem alcançar as raízes, rizomas ou tubérculos de plantas perenes apenas se forem translocados pelo floema. Se a pulverização dos herbicidas não resultar na cobertura completa do dossel, a redistribuição a partir das folhas tratadas para outras partes da parte aérea (como meristemas apicais ou axilares) também pode ser importante (DEVINE; HALL, 1990).

Como os herbicidas atrazine e mesotrione possuem vias de translocação diferentes, é possível que a associação desses herbicidas afete de alguma forma a translocação da mistura herbicida. A elucidação da interação entre os herbicidas atrazine e mesotrione por meio dos estudos de absorção e translocação nas plantas auxiliarão no entendimento do porque a aplicação da mistura apresenta resultados sinérgicos, ou seja, apresenta controle maior quando comparada à mesma dose dos mesmos herbicidas aplicados isoladamente.

Assim, o objetivo deste estudo foi verificar se a interação sinérgica destes herbicidas é proveniente de uma absorção e/ou translocação mais elevada e/ou mais rápida.

4.2. Material e Métodos

Os experimentos foram realizados entre os meses de outubro a dezembro de 2017 em casa-de-vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo (USP) em Piracicaba, SP. As análises foram realizadas no Laboratório de Ecotoxicologia do CENA/USP, Piracicaba, SP.

As sementes de *Ipomoea hederifolia* foram adquiridas da empresa Agrocósmos Produção e Serviços Rurais Ltda. na cidade de Engenheiro Coelho, SP. Estas foram armazenadas em saco de papel Kraft em câmara seca a 20°C e umidade relativa de 50% no laboratório de análise de sementes na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Piracicaba, SP.

4.2.1. Delineamento experimental

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado com quatro tratamentos herbicidas com avaliações em sete períodos de tempo (2, 6, 12, 24, 48, 72 e 96 horas após aplicação - HAA). Foram realizadas três repetições, totalizando 84 unidades experimentais.

A unidade experimental consistiu em um vaso com uma planta de *Ipomoea hederifolia*, sendo que cada vaso recebeu 5 sementes para assegurar que ao menos uma planta germinasse por vaso, ocorrendo o desbaste das plantas em excesso.

4.2.2. Semeadura e escarificação

A semeadura foi efetuada após a realização de escarificação química com ácido sulfúrico concentrado durante 5 minutos. O objetivo principal da escarificação foi quebrar a dormência das sementes, aumentando assim a taxa e a velocidade de germinação. Em estudo realizado por Azania (2003), o uso de ácido sulfúrico durante 5 minutos promoveu aumento na germinação das sementes de *Ipomoea hederifolia* em 76%.

Após lavagem e secagem das sementes escarificadas, estas foram colocadas a 1 cm de profundidade em substrato vegetal, contido em vasos de plástico de 250 mL.

4.2.3. Produtos Químicos

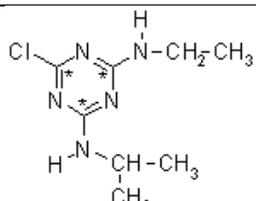
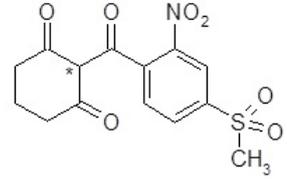
As soluções (250 mL cada tratamento) dos herbicidas não radiomarcados atrazine (500 g i.a. ha⁻¹) e mesotrione (80 g i.a. ha⁻¹) foram preparadas utilizando-se os herbicidas comerciais Proof e Callisto (Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.) e o adjuvante Assist (BASF S.A.) a 0,5% da calda.

Os padrões analíticos dos herbicidas radiomarcados utilizados (¹⁴C-atrazine e ¹⁴C-mesotrione) possuem as características evidenciadas na Tabela 4.1.

As soluções dos herbicidas radiomarcados (soluções de trabalho) foram preparadas por meio da diluição dos padrões analíticos nas soluções dos herbicidas não radiomarcados, de forma que a concentração final do herbicida radiomarcado não

alterasse as doses comerciais utilizadas em cada tratamento (500 g i.a. ha⁻¹ de atrazine e 80 g i.a. ha⁻¹ de mesotrione).

Tabela 4.1 - Herbicidas ¹⁴C-radiomarcados e suas características

Herbicida	Atividade Específica (MBq mg ⁻¹)	Pureza Radioquímica (%)	Local de Marcação do ¹⁴ C	Estrutura Química	Fornecedor
Atrazine	3,20	95,00	ring-U- ¹⁴ C		Ciba Geigy, Delhi, Índia
Mesotrione	3,45	98,40	1,3-cyclohexanedione-2- ¹⁴ C-		Institute of Isotopes Co., Ltd., Budapest, Hungria.

*Representa o local onde se encontra(m) o(s) ¹⁴C na molécula.

A solução cintiladora utilizada foi preparada misturando-se 0,2 g de POPOP ((1.4-di-2.5-pheniloxazol) benzeno) e 300 mL de tolueno. Adicionando-se 4 g de PPO (2.5-diphenyloxazole) e misturando novamente. Adicionando-se 333 mL de RENEX 95% (nonylphenol ethoxylate) e completando com tolueno até 1 L.

A solução cintiladora utilizada no oxidizer foi preparada, utilizando-se 700 mL da solução cintiladora descrita anteriormente, adicionando-se 300 mL de etanolamina e 250 mL de metanol. Essa alteração foi necessária para que solução cintiladora tenha a propriedade de fixar o ¹⁴CO₂ proveniente da oxidação.

4.2.4. Aplicação dos tratamentos

A aplicação dos tratamentos herbicidas ocorreu cerca de 15 dias após a semeadura, sendo escolhidas plantas uniformes de *Ipomoea hederifolia* que apresentavam entre duas a quatro folhas verdadeiras (não cotiledonares).

O experimento consistiu em quatro tratamentos conforme a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Doses dos herbicidas não radiomarcados por tratamento

Tratamentos	Doses herbicidas não radiomarcados	
	Atrazine (g i.a. ha ⁻¹)	Mesotrione (g i.a. ha ⁻¹)
¹⁴ C-atrazine	500	0
¹⁴ C-atrazine+mesotrione	500	80
¹⁴ C-mesotrione	0	80
¹⁴ C-mesotrione+atrazine	500	80

Todos os tratamentos receberam a aplicação de adjuvante Assist a 0,5% da calda.

Estas doses representam a menor dose recomendada do produto Callisto Xtra (Syngenta Crop Protection LLC), utilizado comercialmente nos Estados Unidos. O produto consiste na mistura comercial de atrazine e mesotrione e foi desenvolvido justamente devido ao sinergismo entre essas duas moléculas herbicidas.

Os tratamentos com ¹⁴C-atrazine visaram estudar a absorção e translocação de atrazine, comparando a aplicação de atrazine isolado com a aplicação de atrazine associado à mesotrione. Enquanto os tratamentos com ¹⁴C-mesotrione visaram estudar a absorção e translocação de mesotrione, comparando a aplicação de mesotrione isolado com a aplicação de mesotrione associado à atrazine.

Os herbicidas não radiomarcados foram pulverizados em câmara de aplicação de herbicidas do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP, com velocidade constante calibrada para um volume de calda de 250 L ha⁻¹ e pressão de 35 psi. A ponta de pulverização utilizada foi do tipo leque, com jato plano, modelo XR 80.02, com 50 cm acima da plataforma de aplicação.

A segunda folha verdadeira foi coberta com um saco plástico antes das plantas receberem a pulverização dos herbicidas não radiomarcados. Após a pulverização, as folhas com saco plástico foram descobertas e utilizou-se um microaplicador (Hamilton PB6000 Dispenser, Hamilton Co. EUA) para aplicar gotas de 1,0 µL cada de solução contendo o herbicida radiomarcado na superfície adaxial destas folhas. Cada gota apresentava cerca de 104 Bq, foram aplicadas 16 gotas por planta, totalizando cerca de 1,67 kBq por planta em todos os tratamentos.

4.2.5. Estudos de absorção e translocação

Os estudos de absorção e translocação foram realizados com base no método descrito pelos autores Nandula e Vencill (2015).

Em cada período de avaliação, as plantas foram retiradas dos vasos e divididas em seis partes (folhas tratadas, folhas acima das folhas tratadas, folhas abaixo das tratadas, folhas cotiledonares, caule e raízes). Para se extrair o herbicida não absorvido da superfície das folhas tratadas com herbicida radiomarcado, estas foram lavadas com solução 50:50 de metanol:água. Uma alíquota de 1 mL proveniente desse líquido de lavagem foi retirada em duplicata e transferida para frascos de cintilação (vials) contendo 10 mL de solução cintiladora, sendo mensurada a radioatividade em cada frasco por espectrometria de cintilação líquida em um contador de cintilação (Packard 1900 Tri-Carb - Packard Instruments).

As plantas foram submetidas à combustão a 900°C em um oxidador biológico (OX 500 - R.J. Harvey Instrument Corporation), onde as partes da planta foram oxidadas individualmente na presença de O₂ e o ¹⁴CO₂ resultante foi capturado pela solução cintiladora contida nos frascos de cintilação. A radioatividade nesses frascos foi medida no contador de cintilação líquida.

A absorção do herbicida pelas folhas foi determinada como sendo a porcentagem da radioatividade presente no interior da planta, obtida por meio da soma da radioatividade em todas as partes (folhas tratadas, folhas acima das folhas tratadas, folhas abaixo das tratadas, folhas cotiledonares, caule e raízes) em relação ao total aplicado.

A translocação total do herbicida nas plantas também foi determinada como sendo a porcentagem da radioatividade presente no interior da planta em relação ao total aplicado, porém foi obtida por meio da soma da radioatividade em todas as partes da planta exceto a folha tratada.

O balanço de massa foi determinado por meio da soma da radioatividade obtida no líquido proveniente da lavagem das folhas tratadas e das partes das plantas oxidadas, em relação ao total aplicado.

Os dados de absorção total, translocação total e translocação nas partes das plantas foram ajustados utilizando-se regressões não lineares (equação 1), obtendo assim as porcentagens de absorção e translocação nas diferentes partes da planta ao longo dos diferentes períodos de avaliação (REIS, 2015).

$$Y = a*(1 - e^{(-bx)}) \quad (1)$$

em que Y é a porcentagem absorvida ou translocada; a e b são os parâmetros ajustados da equação; e x corresponde aos períodos de avaliação (HAA).

4.2.6. *Análise estatística*

Os dados referentes à absorção e translocação foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e quando o valor de F foi significativo ($p < 0,05$), tiveram suas médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). As regressões não lineares foram plotadas usando Sigma Plot (Version 10.0 for Windows, Systat Software Inc., Point Richmond, CA).

4.2.7. *Autorradiografia*

Estudos qualitativos também foram realizados com o uso de autorradiografia, para melhor visualização da posição final do herbicida radiomarcado e análise qualitativa da translocação.

As plantas utilizadas foram tratadas da mesma forma que as citadas anteriormente, porém após as folhas tratadas com herbicida radiomarcado serem lavadas, as plantas foram prensadas e colocadas em uma câmara de circulação de ar a 60 °C por 48 horas para secagem e em seguida foram expostas às placas fosforescentes (Storage Phosphor Screen, Perkin Elmer) durante 48 horas. Após esse período, as placas fosforescentes foram passadas em um radio scanner (Packard-Cyclone, Perkin Elmer) e as imagens obtidas. A translocação foi expressa pela intensidade da cor no filme definida pela atividade do ^{14}C dos herbicidas.

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1. *Balanço de Massa*

Foi avaliado primeiramente o balanço de massa para os tratamentos ^{14}C -atrazine, ^{14}C -atrazine+mesotrione, ^{14}C -mesotrione e ^{14}C -mesotrione+atrazine resultando em: 69,4, 73,2, 89,9 e 89,2% respectivamente. Nandula e Vencill (2015), afirmaram que para um estudo com herbicidas radiomarcados, o balanço de massa deve ser superior a 80% para confiabilidade plena dos dados, condição que foi atingida para ambos os tratamentos com ^{14}C -mesotrione.

Os tratamentos com ^{14}C -atrazine apresentaram redução do balanço de massa nos períodos de tempo mais elevados. ^{14}C -atrazine iniciou com 82,2% a 2 HAA, e terminou com 66,1% a 96 HAA. ^{14}C -atrazine+mesotrione iniciou com 89,8%

a 2 HAA, e terminou com 66,8% a 96 HAA. É possível que essa perda seja decorrente de volatilização da ^{14}C -atrazine. Os autores Keller e Weber (1995) chegaram a perder 57% do total de ^{14}C -atrazine aplicado, creditando esta perda a uma possível volatilização por $^{14}\text{CO}_2$. No entanto é necessário realizar um estudo a fundo desses parâmetros, a fim de corroborar essa possibilidade com dados concretos.

4.3.2. Absorção

Os herbicidas atrazine e mesotrione diferiram entre si ($F = 35,910$ e $p < 0,001$) quanto à absorção. No entanto, não houve diferença significativa entre os dois tratamentos com ^{14}C -atrazine, assim como não houve diferença significativa entre os dois tratamentos com ^{14}C -mesotrione.

Os dados de porcentagem de absorção foram melhores descritos com uma equação não linear. A 96 HAA a absorção do herbicida atrazine em plantas de *Ipomoea hederifolia* foi de 62,56% para o tratamento ^{14}C -atrazine e de 60,02% para a mistura ^{14}C -atrazine+mesotrione. Já para o herbicida mesotrione, a absorção a 96 HAA foi de 42,84% para o tratamento ^{14}C -mesotrione e de 46,57% para a mistura ^{14}C -mesotrione+atrazine (Figura 4.1A).

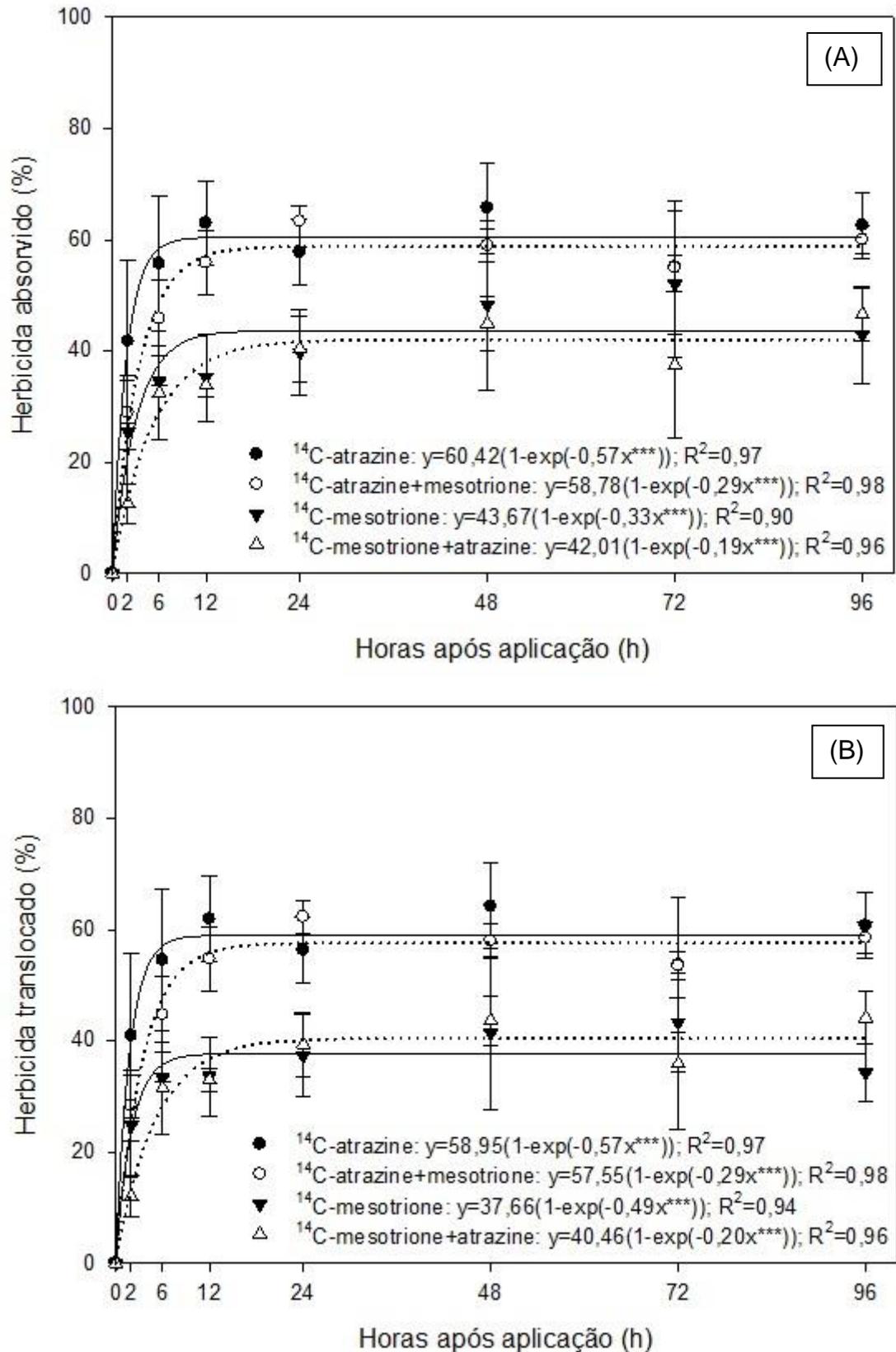
A absorção de herbicidas varia muito de espécie para espécie, principalmente devido a diferenças na espessura, composição química e permeabilidade da cutícula (SILVA et al., 2007). Também existe uma grande variação no padrão de absorção de herbicida para herbicida. Em estudos realizados entre híbridos de sorgo, a absorção de mesotrione variou entre 8 a 12% aos 7 dias após aplicação de ^{14}C -mesotrione (ABIT; AL-KHATIB, 2009). Os autores Armel et al. (2005) utilizaram diferentes doses da mistura ^{14}C -mesotrione+atrazine e encontraram de 51 a 77% de absorção de mesotrione em *Cirsium arvense* a 72 HAA. Outro estudo constatou a absorção de 55 a 90% de ^{14}C -mesotrione em várias espécies de plantas daninhas (MITCHELL et al., 2001). Estes estudos mostram a grande variação no padrão de absorção do herbicida mesotrione entre essas espécies.

Como esperado, a absorção total foi maior nos períodos de tempo mais avançados para todos os tratamentos, havendo diferença entre os períodos de avaliação ($F = 16,669$ e $p < 0,001$). No entanto, não houve diferença significativa na absorção entre as avaliações realizadas a 12 HAA e os períodos subsequentes, mostrando que a absorção total ocorre até esse período, permanecendo constante

após 12 HAA. Essa constatação é importante para prever o padrão de absorção dos herbicidas e auxiliar na estratégia de controle, realizando a aplicação de forma a evitar que os herbicidas sejam lavados pela chuva.

Grande parte do total absorvido de ambos os herbicidas permaneceu na folha tratada. Os tratamentos ^{14}C -atrazine e ^{14}C -atrazine+mesotrione tiveram respectivamente 60,69 e 58,49% do total aplicado permanecendo na folha tratada a 96 HAA, enquanto que os tratamentos ^{14}C -mesotrione e ^{14}C -mesotrione+atrazine tiveram respectivamente 34,19 e 44,10% (Figura 4.1B). Isso ocorreu devido a uma baixa translocação dos herbicidas para as outras partes das plantas de *Ipomoea hederifolia*. Esses resultados são semelhantes ao encontrado na literatura. Os autores Armel et al. (2005) mostraram que a maioria do ^{14}C -mesotrione aplicado a *Cirsium arvense* permaneceu na folha tratada e apenas 9 a 20% translocou para as outras partes da planta.

Figura 4.1 Absorção total (A) e translocação na folha tratada (B) em % do total aplicado em *Ipomoea hederifolia*. As barras verticais representam o desvio padrão da média



4.3.3. Translocação

O tratamento ^{14}C -mesotrione diferiu dos outros tratamentos quanto à translocação total ($F = 28,679$ e $p < 0,001$). Não houve diferença significativa na translocação total dos outros três tratamentos.

Os dados de porcentagem de translocação foram melhores descritos com uma equação não linear. A translocação total do herbicida atrazine a 96 HAA em plantas de *Ipomoea hederifolia* foi de 1,87% para o tratamento ^{14}C -atrazine e de 1,51% para a mistura ^{14}C -atrazine+mesotrione. Já para o herbicida mesotrione, a translocação total foi de 8,65% para o tratamento ^{14}C -mesotrione e de 2,46% para a mistura ^{14}C -mesotrione+atrazine (Figura 4.1A).

Esses resultados são surpreendentes, pois inferem que translocação do herbicida mesotrione foi prejudicada pela associação com o herbicida atrazine.

Quanto a translocação para as folhas acima da folha tratada, o tratamento ^{14}C -mesotrione também foi o único a diferir dos outros tratamentos ($F = 26,104$ e $p < 0,001$). A 96 HAA os tratamentos ^{14}C -atrazine e ^{14}C -atrazine+mesotrione tiveram respectivamente 0,55 e 0,64% do total aplicado translocado para as folhas acima da folha tratada, enquanto que os tratamentos ^{14}C -mesotrione e ^{14}C -mesotrione+atrazine tiveram respectivamente 6,37 e 1,56% (Figura 4.1B). É possível observar que a maior parte do mesotrione translocado da folha tratada em ambos os tratamentos se encontra nas folhas acima da folha tratada.

Na translocação para as folhas abaixo da folha tratada, houve diferença entre os tratamentos ($F = 29,579$ e $p < 0,001$). O tratamento ^{14}C -mesotrione+atrazine apresentou translocação inferior a todos os outros tratamentos. A 96 HAA os tratamentos ^{14}C -atrazine e ^{14}C -atrazine+mesotrione tiveram respectivamente 0,61 e 0,45% do total aplicado translocado para as folhas abaixo da folha tratada, enquanto que os tratamentos ^{14}C -mesotrione e ^{14}C -mesotrione+atrazine tiveram respectivamente 0,68 e 0,28% (Figura 4.1C).

Houve diferença entre os tratamentos quanto à translocação para as folhas cotiledonares ($F = 24,176$ e $p < 0,001$). O tratamento ^{14}C -atrazine apresentou translocação superior a todos os outros tratamentos, com 0,52% do total aplicado translocado para as folhas cotiledonares a 96 HAA, enquanto que os tratamentos ^{14}C -atrazine+mesotrione e ^{14}C -mesotrione, com 0,29 e 0,39% respectivamente,

apresentaram translocação superior ao tratamento ^{14}C -mesotrione+atrazine, com 0,20% (Figura 4.1D).

Na translocação para o caule, houve diferença entre os tratamentos ($F = 35,697$ e $p < 0,001$). O tratamento ^{14}C -mesotrione apresentou translocação superior a todos os outros tratamentos, com 0,83% do total aplicado translocado para o caule a 96 HAA. Enquanto que os tratamentos ^{14}C -atrazine e ^{14}C -atrazine+mesotrione tiveram respectivamente 0,11 e 0,07%, e o tratamento ^{14}C -mesotrione+atrazine teve 0,32% (Figura 4.1E).

Quanto à translocação para as raízes, o tratamento ^{14}C -mesotrione também foi o único a diferir dos outros tratamentos ($F = 15,604$ e $p < 0,001$), apresentando translocação aos outros tratamentos. A 96 HAA os tratamentos ^{14}C -atrazine e ^{14}C -atrazine+mesotrione tiveram respectivamente 0,08 e 0,06% do total aplicado translocado para as raízes, enquanto que os tratamentos ^{14}C -mesotrione e ^{14}C -mesotrione+atrazine tiveram respectivamente 0,38 e 0,09% (Figura 4.1F).

Assim como a absorção, a translocação de um herbicida específico pode variar muito entre as espécies. Isto pode ocorrer devido a diferenças no metabolismo do herbicida na planta (BROMILLOW et al., 1990), que podem ser explicadas por diferenças anatômicas ou fisiológicas entre as espécies (OLIVEIRA JUNIOR; BACARIN, 2011).

Os autores Armel et al. (2005) compararam a translocação do mesotrione aplicado isoladamente e em associação com atrazine em *Cirsium arvense*. Os resultados encontrados são diferentes dos apresentados neste estudo, pois não houve diferença entre a translocação do mesotrione aplicado isoladamente com o mesotrione aplicado em associação com atrazine.

No entanto ambos os estudos negaram a hipótese de que o sinergismo entre esses 2 herbicidas possa estar relacionado a um aumento de absorção e/ou translocação.

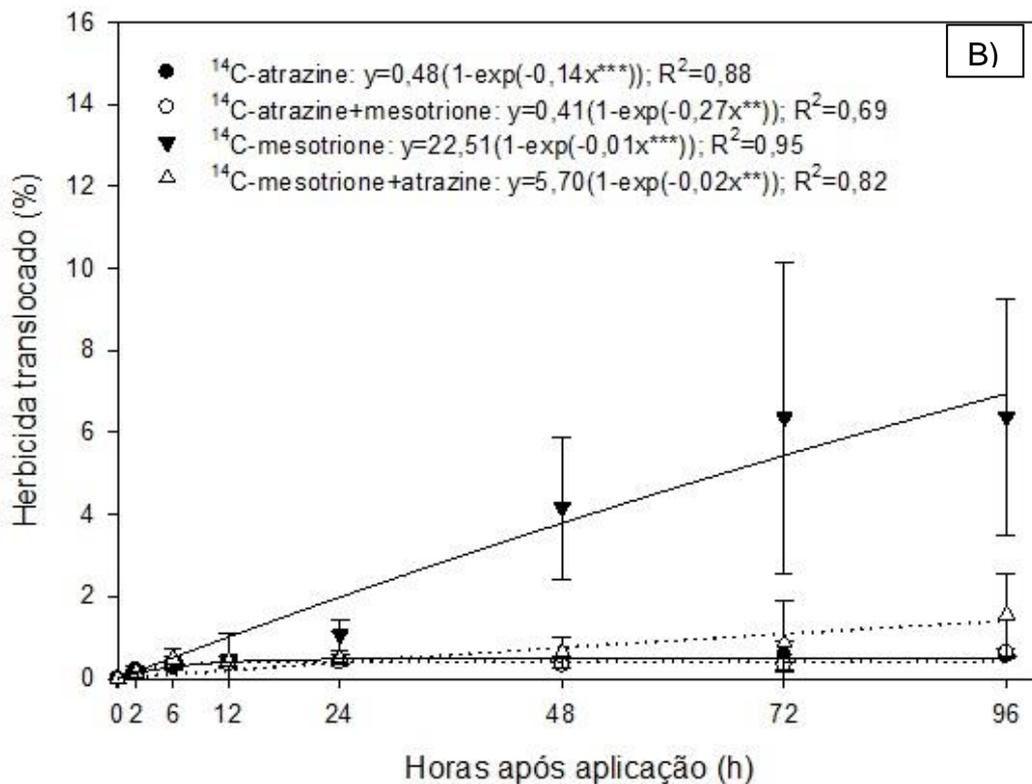
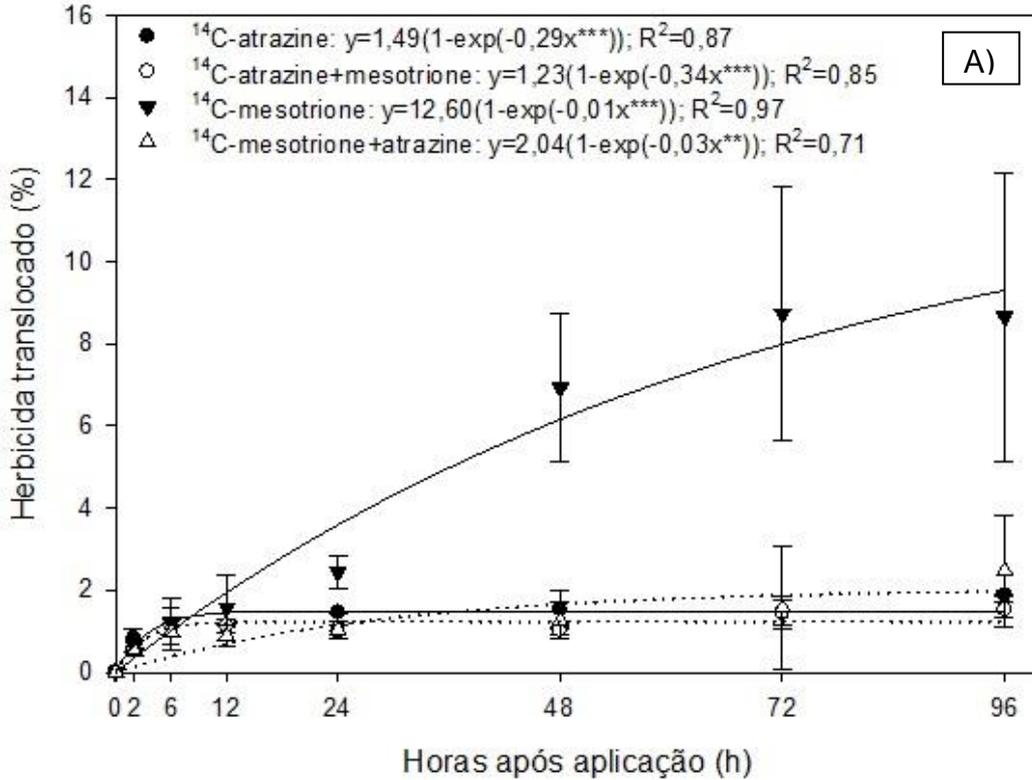
Por ser um inibidor do fotossistema II (FSII), o herbicida atrazine exerce a sua ação fitotóxica ligando-se ao sítio de ligação da proteína D1, no qual a quinona B deveria ligar-se para receber os elétrons da quinona A, bloqueando o transporte de elétrons no fotossistema II, o que gera moléculas de clorofila mais carregadas energeticamente. Nesse estado as moléculas de clorofila dão origem a uma reação em cadeia formando radicais livres, como por exemplo, o oxigênio singlete ($^1\text{O}_2$), que peroxidam os lipídios das membranas, o que causa a formação de novos radicais

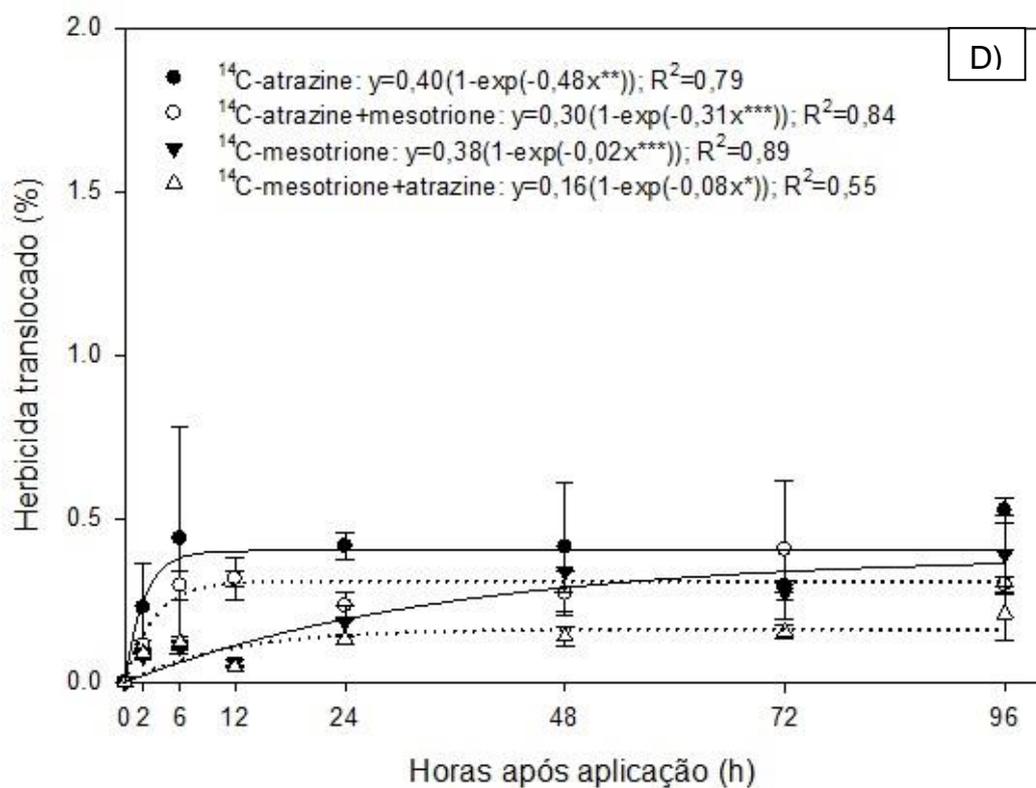
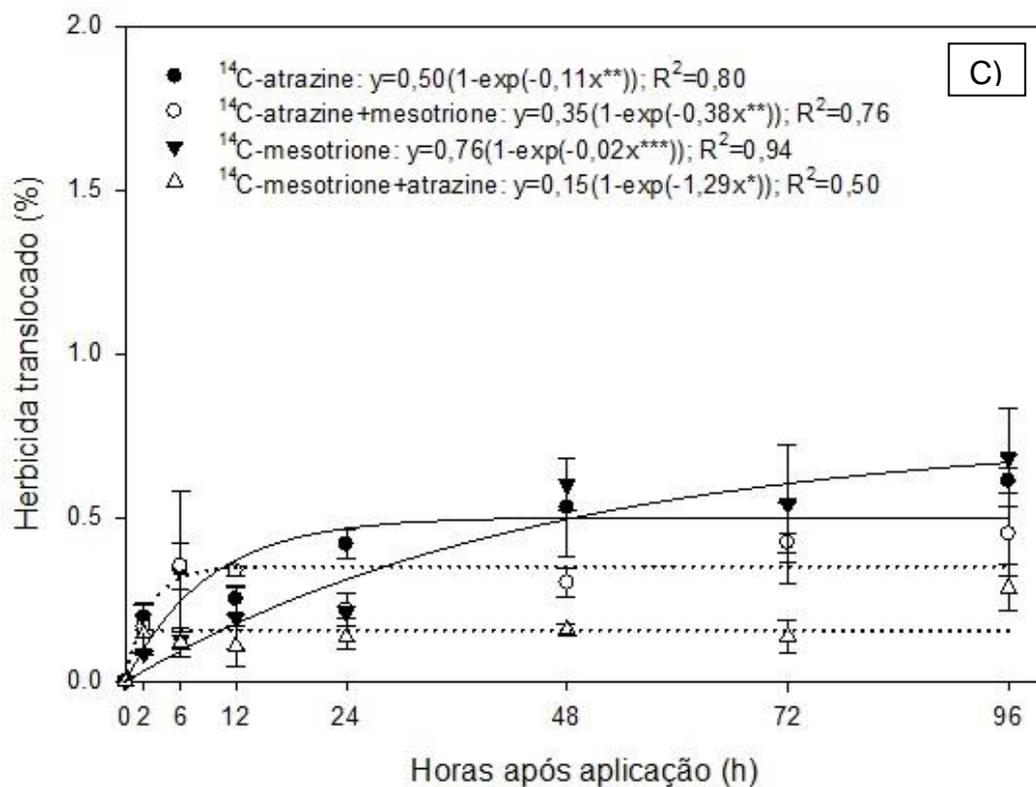
lipídicos, que por sua vez também são capazes de oxidar outros lipídios de membranas, o que leva a planta a morte (FUERST; NORMAN, 1991; GRONWALD, 1994; VIDAL, 1997; KRUSE et al., 2001).

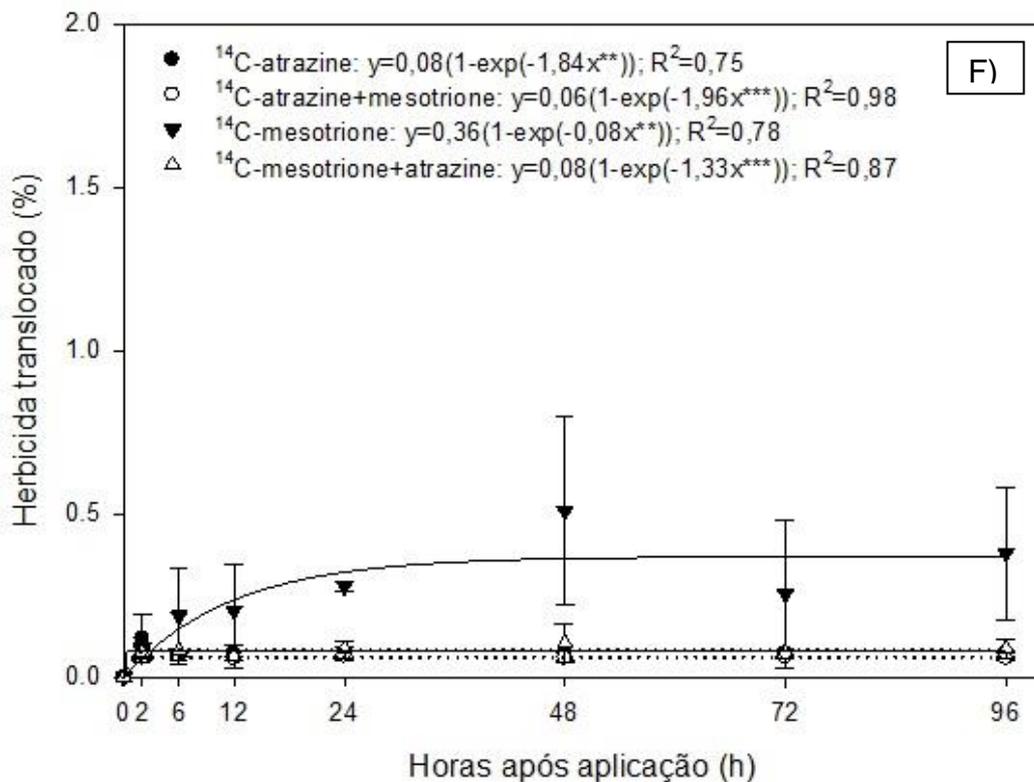
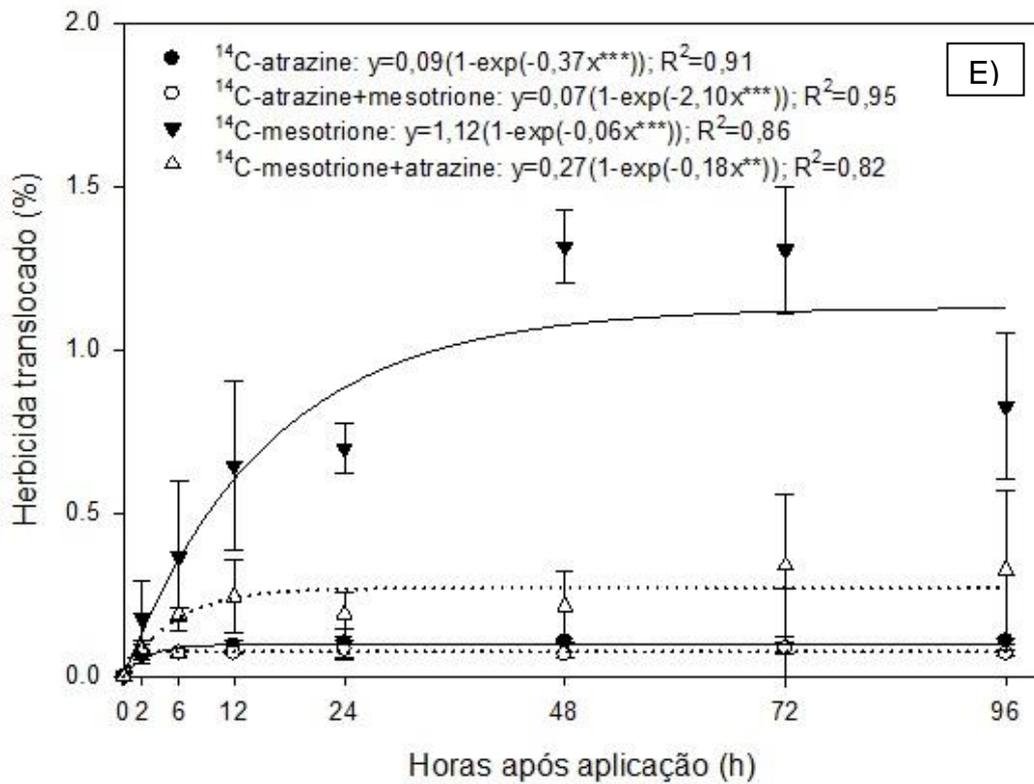
As plantas possuem mecanismos para evitar o estresse oxidativo que é produzido em pequeno grau durante a fotossíntese, porém os inibidores do FSII normalmente causam um grau de estresse oxidativo mais severo que supera essa capacidade de destoxificação. Um desses mecanismos é a ação dos carotenoides presentes nas membranas dos tilacóides, que protegem contra a peroxidação lipídica, dissipando o excesso de energia da clorofila na forma de calor e por meio da ação do α -tocoferol (vitamina E), que é um importante antioxidante (FUERST; NORMAN, 1991; GRONWALD, 1994).

O herbicida mesotrione é um inibidor da síntese de carotenoides por meio da inibição da enzima p-hidroxifenilpiruvato dioxigenase (HPPD), os herbicidas dessa classe também inibem a produção de α -tocoferol (HESS, 1993; PALLETT et al., 1998). Como o α -tocoferol auxilia na neutralização dos efeitos oxidantes do 1O_2 (HESS, 1993), a inibição da produção desse antioxidante pelos herbicidas inibidores da HPPD, pode potencializar os efeitos oxidantes dos 1O_2 produzidos após a aplicação de herbicidas inibidores do FSII.

Figura 4.1 Translocação em *Ipomoea hederifolia*. Translocação total em todas as partes da planta exceto folha tratada (A); Translocação nas folhas acima da folha tratada (B); Translocação nas folhas abaixo da folha tratada (C); Translocação nas folhas cotiledonares (D); Translocação no caule (E); Translocação nas raízes (F). As barras verticais representam o desvio padrão da média





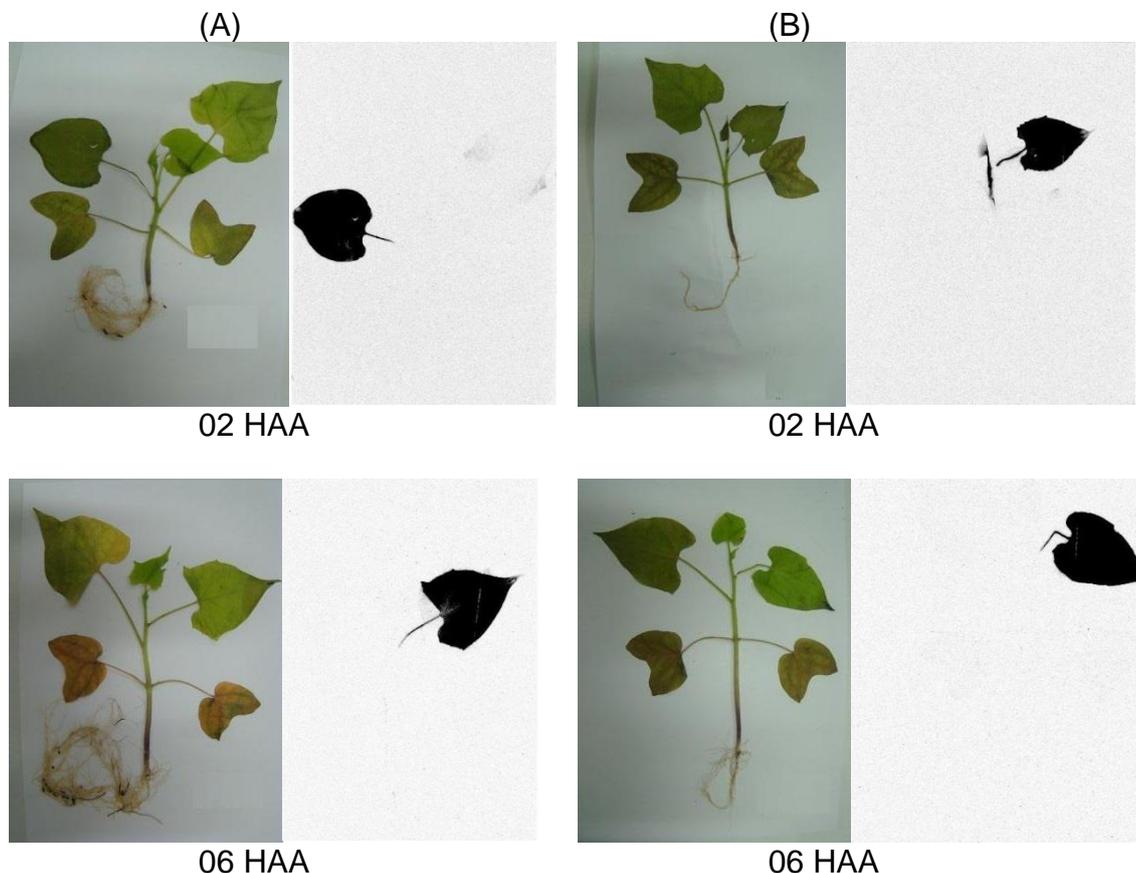


4.3.4. Autorradiografia

Enquanto a combustão biológica oferece uma análise quantitativa do herbicida translocado em cada parte da planta, a autorradiografia oferece uma análise qualitativa do movimento do herbicida na planta por meio de imagem.

A autorradiografia das plantas de *Ipomoea hederifolia* que receberam os tratamentos ^{14}C -atrazine e ^{14}C -atrazine+mesotrione (Figura 4.1 A e B) e os tratamentos ^{14}C -mesotrione e ^{14}C -mesotrione+atrazine (Figura 4.2 A e B) ilustram os resultados obtidos nesta pesquisa. É possível observar através da intensidade da cor, que as plantas que receberam os tratamentos com ^{14}C -atrazine apresentaram uma maior translocação do herbicida na folha tratada em relação aos tratamentos com ^{14}C -mesotrione. No entanto os tratamentos com ^{14}C -atrazine, assim como o tratamento ^{14}C -mesotrione+atrazine, apresentaram uma translocação menor para as outras partes da planta do que o tratamento ^{14}C -mesotrione.

Figura 4.1 Autorradiografia de plantas de *Ipomoea hederifolia* após receber ^{14}C -atrazine (A) e ^{14}C -atrazine+mesotrione (B). A fotografia da planta prensada está à esquerda e a autorradiografia da translocação na planta à direita





12 HAA



12 HAA



24 HAA



24 HAA



48 HAA



48 HAA



72 HAA



72 HAA

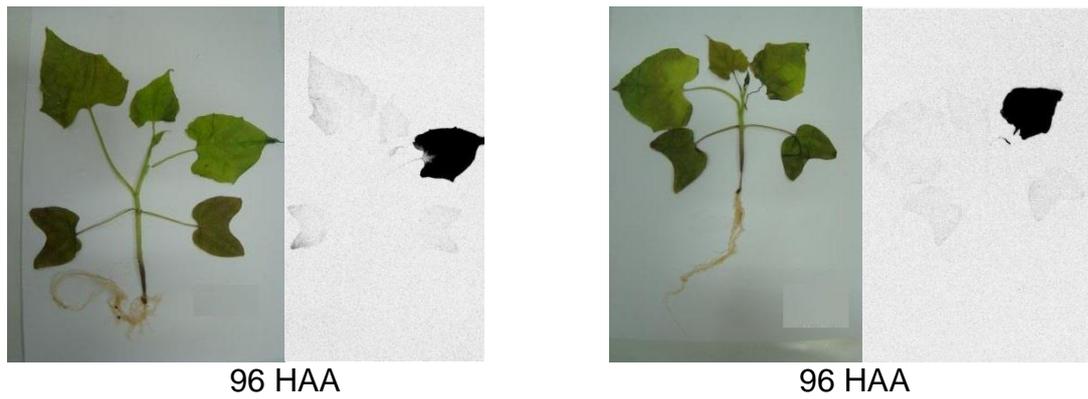
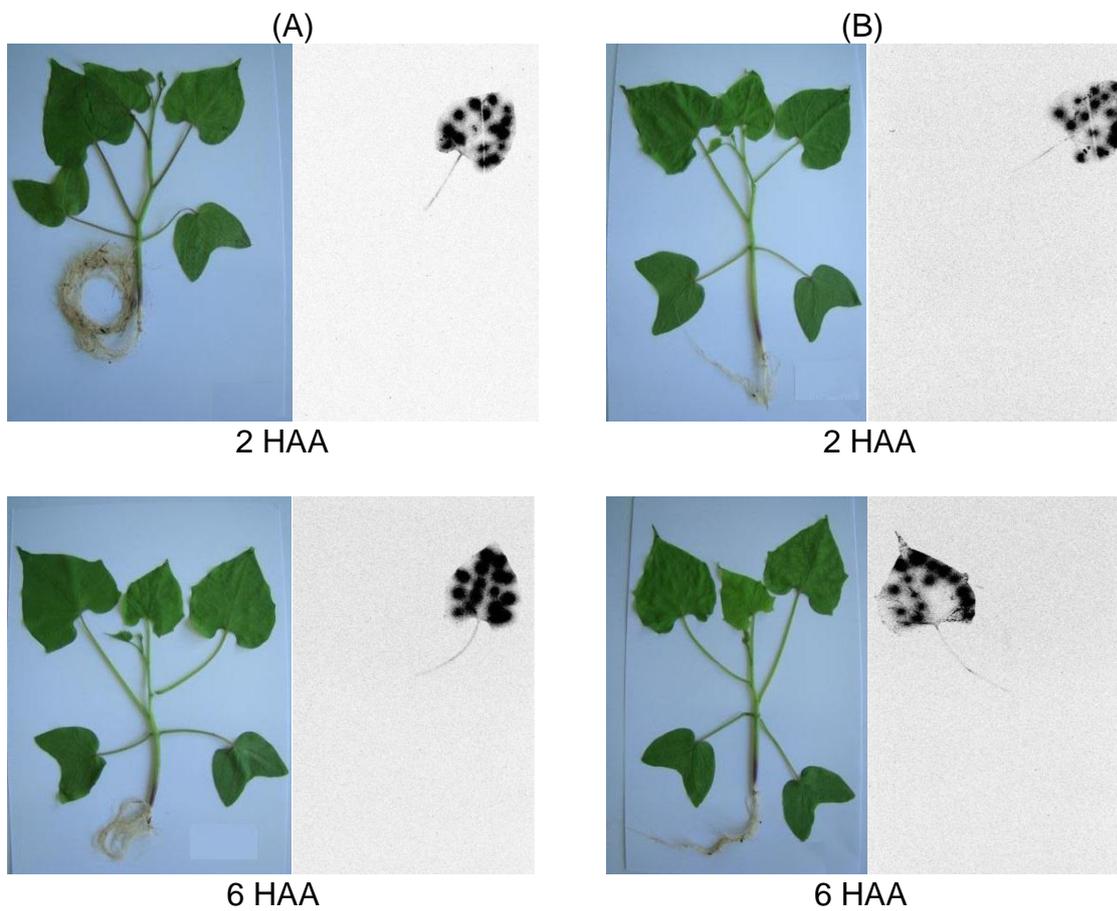


Figura 4.2 Autoradiografia de plantas de *Ipomoea hederifolia* após receber ^{14}C -mesotrione (A) e ^{14}C -mesotrione+atrazine (B). A fotografia da planta prensada está à esquerda e a autoradiografia da translocação na planta à direita





12 HAA



12 HAA



24 HAA



24 HAA



48 HAA



48 HAA



72 HAA



72 HAA



4.4. Conclusões

Quanto à absorção, houve diferença entre os herbicidas atrazine e mesotrione, no entanto não houve diferenças entre atrazine aplicada isoladamente e em associação com mesotrione, assim como não houve diferença entre mesotrione aplicado isoladamente e em associação com atrazine.

Quanto à translocação total, não houve diferença entre atrazine aplicada isoladamente e em associação com mesotrione. Porém o herbicida mesotrione aplicado isoladamente apresentou translocação superior em relação ao mesotrione aplicado em associação com atrazine, demonstrando assim que a associação com atrazine atrapalhou a translocação do mesotrione,

Tais resultados refutam a hipótese de que a interação sinérgica desses herbicidas em *Ipomoea hederifolia* possa estar relacionada com uma absorção e/ou translocação mais elevada e/ou mais rápida de pelo menos um desses herbicidas.

São necessários mais estudos para elucidar a interação sinérgica entre os herbicidas mesotrione e atrazine. O entendimento da interação destas moléculas na planta é fundamental para a adoção de estratégias de controle adequadas.

Referências

ABENDROTH, J. A.; MARTIN, A. R.; ROETH, F. W. Plant response to combinations of mesotrione and photosystem II inhibitors. **Weed Technology**, Champaign, v. 20, n. 1, p. 267–274, 2006.

ABIT M. J. M.; AL-KHATIB K. Absorption, translocation and metabolism of mesotrione in grain sorghum. **Weed Science**, Champaign, v. 57, n. 6, p. 563-566, 2009.

ARMEL, G. R. et al. Mesotrione plus atrazine mixtures for control of Canada thistle (*Cirsium arvense*). **Weed Science**, Champaign, v. 53, n. 2, p. 202–211, 2005.

AZANIA, A. A. P. M. et al. Métodos de superação de dormência em sementes de *Ipomoea* e *Merremia*. **Planta daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 203-209, 2003.

BROMILLOW, R. B.; CHAMBERLAIN, K.; EVANS, A. A. Physicochemical aspects of phloem translocation of herbicides. **Weed Science**, Champaign, v. 38, n. 3, p. 305-314, 1990.

DEVINE, M. D.; HALL, L. M. Implications of sucrose transport in membranes for the translocation of herbicides. **Weed Science**, Champaign, v. 38, n. 3, p. 299-304, 1990.

FUERST, E. P.; NORMAN, M. A. Interactions of herbicides with photosynthetic electron transport. **Weed Science**, Champaign, v. 39, n. 3, p. 458-464, 1991.

GRONWALD, J. W. Resistance to photosystem II inhibiting herbicides. In: POWLES, S.; HOLTUM, J. (Ed.). **Herbicide resistance in plants: biology and biochemistry**, Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 27-60.

HESS, J. L. Vitamin E, a-tocopherol. In: ALSCHER, R. G.; HESS J. L. (Ed.). **Antioxidants in higher plants**. Boca Raton: CRC Press, 1993. p. 111-134.

HUGIE, J. A.; BOLLERO, G. A.; TRANEL P. J. Defining the rate requirements for synergism between mesotrione and atrazine in redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*). **Weed Science**, Champaign, v. 56, n. 2, p. 265-270, 2008.

KELLER, K. E.; WEBER, J. B. Mobility and dissipation of ¹⁴C-labeled atrazine, metolachlor, and primisulfuron in undisturbed field lysimeters of a coastal plain soil **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC, v. 43, n. 4, p. 1076-1086, 1995.

KOVRT, J. R.; SPRAGUE, C. L. Response of a multiple-resistant Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) population to four HPPD-inhibiting herbicides applied alone and with atrazine. **Weed Science**, Champaign, v. 65, n. 4, p. 534-545, 2017.

KRUSE, N. D. et al. Sinergismo potencial entre herbicidas inibidores do fotossistema II e da síntese de carotenoides **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 569-575, 2001.

MITCHELL, G. et al. Mesotrione: a new selective herbicide for use in maize. **Pest Management Science**, London, v. 57, n. 2, p. 120-128, 2001.

NANDULA, V. K.; VENCILL, W. K. Herbicide absorption and translocation in plants using radioisotopes. **Weed Science**, Champaign, v. 63, n. 1: p. 140-151, 2015.

OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; BACARIN, M. A. Absorção e translocação de herbicidas. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba: Agropecuária, 2001. p. 261-290.

PALLETT, K. E. et al. The mode of action of isoxaflutole. I. Physiological effects, metabolism, and selectivity. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, New York, v. 62, n. 2, p. 113-124, 1998.

REIS, F. C. et al. Uptake, translocation, and control of trumpet flower (*Tecoma stans*) with aminocyclopyrachlor. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, New York, v. 50, n. 10, p. 727-733, 2015.

SILVA, J. F.; SILVA, J. F.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A. Herbicidas: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. 1. ed. Viçosa: UFV, 2007. cap. 3, p. 149-180.

VIDAL, R.A. **Herbicidas**: mecanismos de ação e resistência de plantas. 1. ed. Porto Alegre: Ed. do autor, 1997. 165 p.

WOODYARD, A. J.; BOLLERO, G. A.; RIECHERS, D. E. Broadleaf weed management in corn utilizing synergistic postemergence herbicide combinations. **Weed Technology**, Champaign, v. 23, n. 4, p. 513-518, 2009a.

WOODYARD, A. J.; HUGIE, J. A.; RIECHERS, D. E. Interactions of mesotrione and atrazine in two weed species with different mechanisms for atrazine resistance. **Weed Science**, Champaign, v. 57, n. 4, p. 369-378, 2009b.