

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Interação e eficácia de flumioxazin e pyroxasulfone e influência do período de seca após aplicação em ambiente de cana-de-açúcar

Jéssica Cursino Presoto

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2020**

Jéssica Cursino Presoto
Bacharel em Engenharia Agrônômica

Interação e eficácia de flumioxazin e pyroxasulfone e influência do período de seca após aplicação em ambiente de cana-de-açúcar

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **PEDRO JACOB CHRISTOFFOLETI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2020

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Presoto, Jéssica Cursino

Interação e eficácia de flumioxazin e pyroxasulfone e influência do período de seca após aplicação em ambiente de cana-de-açúcar / Jéssica Cursino Presoto. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2020.

63 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1 Manejo 2 Dinâmica 3 Capim-colônia 4 Pré-emergência 5 Herbicida I.
Título

À meus pais, Márcia e Valdir, os maiores
incentivadores dos meus sonhos, e à Deus.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

- À Deus, pela vida, saúde e por me proporcionar chegar até aqui e conhecer pessoas tão importantes ao longo da minha trajetória;
- Aos meus pais, Márcia e Valdir, por me darem todo apoio, estarem sempre presentes, por todo incentivo e por sempre acreditarem em mim;
- À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), em especial ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia e ao Departamento de Produção Vegetal, pela oportunidade de realizar o mestrado e este trabalho;
- Ao Professor Dr. Pedro Jacob Christoffoleti, pela orientação, amizade, colaboração, oportunidades e contribuições à minha formação profissional;
- Ao Professor Dr. Saul Jorge Pinto de Carvalho, pela amizade, por todas as oportunidades que me concedeu durante a graduação, pelos conhecimentos passados e por todo auxílio prestado ao longo da minha formação profissional;
- Ao Eng. Agr. Dr. Marcelo Nicolai, pela oportunidade concedida durante a graduação, a qual foi muito importante para meu caminho na ciência das plantas daninhas, pela amizade, pelos conhecimentos passados e por todo auxílio à minha formação profissional;
- À Eng. Agr. Jeisiane de Fátima Andrade, pela grande amizade que construímos desde a graduação, pelo companheirismo em nossas pesquisas, assim como na condução deste trabalho, por sempre me incentivar e pelos conhecimentos divididos;
- Ao Eng. Agr. Dr. Acácio Gonçalves Netto, pela amizade e pelo companheirismo desde a graduação, por todo auxílio para condução deste trabalho, pelos conhecimentos passados e pelos incentivos à minha formação;
- Ao Eng. Agr. M.Sc. Marcelo Rafael Malardo, pela amizade construída durante o mestrado, pelo companheirismo e ajuda na condução deste trabalho, pelos conhecimentos passados e pelos incentivos;
- À todos os meus amigos que de alguma forma contribuíram durante minha trajetória acadêmica, e que acreditaram em mim, em especial às amigas Bruna da Silva, Camila Lingardi, Daiana Aparecida, Lídia Garcia e Meiry Gabriely.

- Ao Grupo Assistido de Pesquisa e Extensão em Matologia (GAPE Matologia/IFSULDEMINAS - Machado), por todo o apoio e incentivo durante minha graduação;
- Ao Grupo de Experimentação em Biologia de Plantas Daninhas (GEBPD/ESALQ/USP), por todo o apoio durante o mestrado;
- À Agrocon Assessoria Agronômica, pelo suporte prestado para a realização deste trabalho;
- Às secretárias da pós-graduação Luciane Aparecida Lopes Toledo e Ângela Márcia Derigi Silva, por todo apoio e suporte durante o mestrado;
- Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - Campus Machado, por todas as oportunidades, e à todos os professores pelos conhecimentos divididos;
- À CAPES pela bolsa concedida.

MUITO OBRIGADA!

“Sem experiência a sabedoria é limitada”

Yeshua Ben Sirach

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO	11
Referências	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Manejo de plantas daninhas em cana-de-açúcar	15
2.2. Associação entre herbicidas em cana-de-açúcar	15
2.3. Dinâmica de herbicidas em condições de pré-emergência	16
2.4. Flumioxazin e pyroxasulfone	18
Referências	19
3. EFICÁCIA E INTERAÇÃO DA ASSOCIAÇÃO DE FLUMIOXAZIN E PYROXASULFONE NO CONTROLE DE CAPIM-COLONIÃO (<i>Panicum maximum</i>)	25
Resumo	25
Abstract	25
3.1. Introdução	26
3.2. Material e métodos	27
3.3. Resultados e discussão	29
3.4. Conclusões	33
Referências	33
4. INFLUÊNCIA DO PERÍODO DE SECA NA EFICÁCIA DE CONTROLE DE FLUMIOXAZIN E PYROXASULFONE EM AMBIENTE DE CANA-DE-AÇÚCAR.	37
Resumo	37
Abstract	37
4.1. Introdução	38
4.2. Material e métodos	39
4.3. Resultados e discussão	42
4.4. Conclusões	58
Referências	58
5. CONCLUSÕES FINAIS	62

RESUMO

Interação e eficácia de flumioxazin e pyroxasulfone e influência do período de seca após aplicação em ambiente de cana-de-açúcar

Os herbicidas aplicados em condições de pré-emergência desempenham um papel importante no controle de plantas daninhas em cana-de-açúcar. Para adotar o uso de associações entre herbicidas pré-emergentes, sejam estas realizadas diretamente no tanque do pulverizador ou formuladas, é preciso analisá-las quanto ao tipo de interação envolvida, e seus efeitos adversos ou benéficos. Outro ponto crítico na utilização dessa modalidade de aplicação é a ocorrência de períodos sem a ocorrência de chuva ou irrigação após a sua aplicação, que podem reduzir a quantidade de herbicida que chega ao solo, e efetivamente é disponível para absorção pelas plantas daninhas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a interação e a eficácia dos herbicidas flumioxazin e pyroxasulfone, aplicados isoladamente ou formulados, bem como a influência do período sem ocorrência de chuva ou irrigação após a aplicação destes herbicidas, sobre o solo exposto e sobre a palha de cana-de-açúcar. A eficácia e interação da mistura foram estudadas através da aplicação de teste Tukey e da equação proposta por Colby, através de um delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial 4x4, com quatro doses do herbicida flumioxazin (0, 50, 100 e 200 g ha⁻¹) e quatro doses do herbicida pyroxasulfone (0, 50, 100 e 200 g ha⁻¹). A eficácia da associação entre os herbicidas flumioxazin e pyroxasulfone sobre capim-colonião, foi comprovada na aplicação em condições de pré-emergência. A interação entre os herbicidas flumioxazin e pyroxasulfone foi considerada aditiva, sendo o controle de capim-colonião favorecido sempre que a dose de cada herbicida é aumentada. Já o estudo da influência do período sem chuva ou irrigação após a aplicação dos herbicidas isolados e em mistura constou de seis experimentos independentes, onde cada herbicida (flumioxazin; pyroxasulfone; flumioxazin + pyroxasulfone) foi avaliado na aplicação sobre o solo e sobre a palhada de cana-de-açúcar. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 6x6, em que seis foram os períodos de permanência na palha ou no solo antes da chuva simulada (0, 15, 30, 45, 75 e 90 dias), e seis foram as doses herbicidas (0D; 1/4D; 1/2D; 1D; 2D e 4D), sendo D a dose de ingrediente ativo de cada produto recomendado em bula ou proposta para registro do produto. Nos experimentos com palhada na superfície do solo, a palhada foi retirada da superfície do solo logo após a aplicação dos herbicidas, com o objetivo de verificar comparativamente quanto do herbicida efetivamente transpôs a palhada após a simulação de chuva. Os dados foram ajustados ao modelo de curva dose-resposta e, quando não ajustados, foram submetidos ao teste Tukey. Diante das aplicações de flumioxazin e pyroxasulfone, tanto isolados quanto em mistura formulada, diretamente sobre o solo, a eficácia de controle foi satisfatória, principalmente na dose comercial, independente do período de permanência no solo sem a precipitação. Já quando as aplicações ocorreram sobre a palhada, o período de permanência influenciou na eficácia dos produtos, necessitando nestes casos do incremento de doses para aumentar a quantidade de produto capaz de chegar ao solo.

Palavras-chave: Manejo, Dinâmica, Capim-colonião, Pré-emergência, Herbicida

ABSTRACT

Interaction and effectiveness of flumioxazin and pyroxasulfone and influence of the drought period after application in a sugarcane environment

Herbicides applied in pre-emergence conditions play an important role in the control of weeds in sugar cane. To adopt the use of pre-emergent mixtures, whether the mixtures is done directly in the sprayer tanks or formulated, it is necessary to analyze them as to the type of interaction involved, and their adverse or beneficial effects. Another critical point in the use of this type of application is the occurrence the occurrence of long period without rain or irrigation after its application, which can reduce the amount of herbicide that reaches the soil, and it is effectively available for absorption by weeds. Therefore, the objective of this work was to evaluate the interaction and the effectiveness of the herbicides flumioxazin and pyroxasulfone, applied alone or in formulated mixture, as well as the influence of period without rain or irrigation after the application of these herbicides, isolated or in a formulated mixture, on bare soil and on in sugarcane straw. The effectiveness and interaction of the mixture was studied through the application of the Tukey test and the methodology proposed by Colby, through a randomized block design in a 4x4 factorial scheme, with four rates of the herbicide flumioxazin (0, 50, 100 and 200 g ha⁻¹), and four rates of the herbicide pyroxasulfone (0, 50, 100 and 200 g ha⁻¹). The effectiveness of the association between the herbicides flumioxazin and pyroxasulfone on the guineagrass, was proven in the application in pre-emergence conditions. The interaction between the herbicides flumioxazin and pyroxasulfone was considered additive with the control of colimgrass favored whenever the dose of each herbicide is increased. The study of the influence of the period without rain or irrigation after application of the herbicides applied alone or mixed consisted of six independent experiments, where each herbicide (flumioxazin; pyroxasulfone; flumioxazin + pyroxasulfone) was evaluated when applied to bare soil and on the sugarcane straw. The experimental design adopted was the randomized blocks in a 6x6 factorial scheme, six periods without rain or irrigation after application in the straw or on bare soil (0, 15, 30, 45, 75 and 90 days) and six herbicide rates (0D; 1 / 4D; 1 / 2D; 1D; 2D and 4D), where D is the dose of active ingredient of each product at the recommended rate or proposed to be registred as recommended rate. The data were adjusted to dose-response model and, when not adjusted, were submitted to the Tukey test. In view of the applications of flumioxazin and pyroxasulfone, both isolated and in a formulated mixture, directly on the soil, the control effectiveness was satisfactory, mainly in the commercial dose, regardless of the period of permanence in the soil without precipitation. When applications occur on a pallet, or the period of permanence influenced by the use of products, it is necessary to apply cases of dose increase to increase the amount of product capable of reaching the ground.

Keywords: Management, Dynamics, Guineagrass, Pre-emergence, Herbicide

1. INTRODUÇÃO

Para a obtenção de sucesso no manejo de plantas daninhas na cultura de cana-de-açúcar, através da utilização de herbicidas, aplicados em condições de pré-emergência, é importante garantir um amplo espectro de controle da comunidade de plantas daninhas infestante, com um período residual de controle suficiente para atender o período crítico de competição da cultura (MILLER; RESENDE; MEDEIROS, 1995) e, neste aspecto, a associação de diferentes ingredientes ativos torna-se uma importante ferramenta no manejo de plantas daninhas (SANTOS; SOUZA; CARVALHO, 2011).

Através da associação é possível melhorar, e/ou complementar a ação de ambas as moléculas, como também tornar o espectro de controle mais amplo, e até reduzir as doses dos herbicidas (RONCHI et al., 2002). Mas, é importante ressaltar que a associação de duas ou mais moléculas pode resultar em efeitos diversos, como incompatibilidade, sinergia, antagonismo ou efeito aditivo, sendo importante conhecer o tipo de interação para cada molécula que se adote (GAZZIERO, 2015).

Além disso, o sucesso da aplicação também depende, diretamente, do entendimento das características físico-químicas de cada molécula, e das suas interações com os atributos do solo, e as condições ambientes, pois estes fatores afetam a biodisponibilidade dos herbicidas para o controle das plantas daninhas (CHRISTOFFOLETI et al., 2009; ROSSI et al., 2013; ORZARI, 2015).

No sistema de produção de cana crua, além dos atributos do solo, a eficácia de controle pelos herbicidas também é afetada pela presença de uma camada de palhada, a qual pode interceptar o herbicida em sua superfície, tornando-o vulnerável à degradação, até ser lixiviado para o solo (CARBONARI; GOMES; VELINI, 2010).

Neste caso, o fator ambiental responsável pela capacidade de transposição de um herbicida pela palhada, até atingir o solo, é a precipitação pluvial ou a irrigação. Tanto o volume de água, a época de ocorrência da primeira chuva ou a irrigação após a aplicação do produto, bem como as condições climáticas prevaletentes durante, e após a aplicação, irão ditar a eficácia de controle (FORNAROLLI et al., 1998; SELIM; ZHOU; ZHU, 2003; SIMONI et al., 2006; MATOS et al., 2016).

Para diversos herbicidas, verifica-se que a permanência sobre a palhada por longos períodos sem chuvas implica em reduções nas quantidades do herbicida carregado ao solo, podendo ser interceptado até 90% do produto aplicado (RODRIGUES; LIMA; YADA, 2000;

MEDEIROS, 2001; NEGRISOLI et al., 2004; CAVENAGHI et al., 2007; GODOY et al., 2007).

O flumioxazin [N-(7-fluoro-3,4-dihidro-3-oxo-4-prop-2-ynyl-2H-1,4-benzoxazin-6-yl) cyclohex-1-ene-1,2-dicarboxamide] é um herbicida registrado para o controle de plantas daninhas na cultura de cana-de-açúcar, aplicado em condições de pré-emergência, sendo responsável pela inibição da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) (HAO et al., 2011; RODRIGUES; ALMEIDA, 2018). Já o pyroxasulfone [N-(7-fluoro-3,4-dihidro-3-oxo-4-prop-2-ynyl-2H-1,4-benzoxazin-6-yl) cyclohex-1-ene-1,2-dicarboxamide] é um herbicida em fase de desenvolvimento no Brasil para uso em diversas culturas, dentre elas a cana-de-açúcar, para uso isolado ou em mistura formulada com o flumioxazin. É aplicado em condições de pré-emergência das plantas daninhas, sendo responsável pela inibição da biossíntese de ácidos graxos de cadeia longa (VLCFA) (TANETANI et al., 2009; HARDEN et al., 2011).

Ambas as moléculas são não iônicas, possuem baixa solubilidade em água, grande afinidade por substâncias lipofílicas, e baixa pressão de vapor, além de serem degradadas, principalmente, pela ação microbiana do solo (WESTRA et al., 2015; MANGIN et al., 2017; KHALIL et al., 2018; MOROTA et al., 2018; RODRIGUES; ALMEIDA, 2018), o que sugere que as moléculas tenham potencial para adsorverem-se à palhada de cana-de-açúcar, em função do período de permanência sem a ocorrência de precipitação pluvial ou irrigação.

Deste modo, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia de controle e o tipo de interação envolvida na associação entre flumioxazin e pyroxasulfone, bem como avaliar a influência de diferentes períodos de permanência na palhada de cana-de-açúcar na eficácia dos herbicidas isolados e em mistura formulada, antes da ocorrência da primeira precipitação.

Referências

CARBONARI, C.A.; GOMES, G.L.; VELINI, E.D. Efeitos de períodos sem a ocorrência de chuva na eficácia do flumioxazin aplicado no solo e na palha de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 9, n. 3, p. 81-88, 2010.

CAVENAGHI, A.L.; ROSSI, C.V.S.; NEGRISOLI, E.; COSTA, E.A.D.; VELINI, E.D.; TOLEDO, R.E.B. Dinâmica do herbicida amicarbazone (Dinamic) aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 831-837, 2007.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LOPEZ-OVEJERO, R. F.; CARVALHO, S. J. P.; DAMIN, V.; NICOLAI, M. **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2009. 72p.

FORNAROLLI, D.A.; RODRIGUES, B.N.; LIMA, J.; VALÉRIO, M.A. Influência da cobertura morta no comportamento do herbicida atrazine. **Planta Daninha**, v. 16, n. 2, p. 97-107, 1998.

GAZZIERO, D.L.P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha**, v. 33, n. 1, p. 83-92, 2015.

GODOY, M.C.; MESCHEDE, D.K.; CARBONARI, C.A.; CORREIA, M.R.; VELINI, E.D. Efeito da cobertura morta de milheto (*Pennisetum americanum*) sobre a eficácia do herbicida metribuzin no controle de *Ipomoea grandifolia* e *Sida rhombifolia*. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 79-86, 2007.

HAO, G.F.; ZUO, Y.; YANG, S.G.; YANG, G.F. Protoporphyrinogen oxidase inhibitor: an ideal target for herbicide discovery. **Chemistry in China**, v. 65, n. 12, p. 961-969, 2011.

HARDEN, J.; THOMAS, W.; BOND, R.C.; BOWE, S.R.; HONDA, H.; YAMAJI, Y. Residual control of *Amaranthus* and other key weeds in corn and soybean with pyroxasulfone. In: Southern Weed Science Society Meeting, 64, 2011, San Juan. **Proceedings...** San Juan: SWSS, 2011. p 49.

KHALIL, Y.; FLOWER, K.; SIDDIQUE, K.H.M.; WARD, P. Rainfall affects leaching of pre-emergent herbicide from wheat residue into the soil. **Plos one**, v. 14, n. 2, p. 1 - 14, 2018.

MANGIN, A.R.; HALL, L.M.; SCHOENAU, J.J.; BECKIE, H. Influence of tillage on control of wild oat (*Avena fatua*) by the soil-applied herbicide pyroxasulfone. **Weed Science**, v. 65, n. 2, p. 266-274, 2017.

MATOS, A.K.A.; CARBONARI, C.A.; GOMES, G.L.G.C.; VELINI, E.D. Dinâmica de herbicidas pré-emergentes em sistemas de produção com palha. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 1, p. 97-106, 2016.

MEDEIROS, D. **Efeitos da palha de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sobre o manejo de plantas daninhas e dinâmica do banco de sementes**. 2001. 126 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2001.

MILLER, L.C.; RESENDE, L.C.L.; MEDEIROS, A.M.L. Manejo de herbicidas na lavoura de cana-de-açúcar. **STAB**, v. 13, p. 9-13, 1995.

MOROTA, F.K.; MATTE, W.D.; OLIVEIRA JUNIOR, R.S.; BIFFE, D.F.; FRANCHINI, L.H. M.; CONSTANTIN, J. Sistemas de manejo de plantas daninhas utilizando o novo herbicida pyroxasulfone visando ao controle químico de gramíneas em soja, **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 2, p. 1-10, 2018.

NEGRISOLI, E.; VELINI, E.D.; TOFOLI, G.R.; CAVENAGHI, A.L.; MARTINS, D.; MORELLI, J.L.; COSTA, A.G.F. Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da cana-de-açúcar tratada com nematicidas. **Planta Daninha**, v. 22, n. 4, p. 567-57, 2004.

ORZARI, I. **Efeitos de herbicidas no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar e lixiviação, absorção e translocação de diurom**. 2015. 142 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 7^a ed. Londrina, 764p. 2018.

RODRIGUES, B.N.; LIMA, J.; YADA, I.F.U. Retenção pela palhada de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da soja, em plantio direto. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 1, n. 1, p. 67-72, 2000.

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

ROSSI, C.V.S.; VELINI, E.D.; LUCHINI, L.C.; NEGRISOLI, E.; CÔRREA, M.R.; PIVETTA, J.P.; COSTA, A.G.F.; SILVA, F.M.L. Dinâmica do herbicida metribuzin aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 223-230, 2013.

SANTOS, E. C.; SOUZA, P. A.; CARVALHO, F. T. Eficácia do S-metolachlor associado à ametrina e hexazinona+diuron no controle pré e pós-emergente de plantas daninhas em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 165-175, 2011.

SELIM, H.M.; ZHOU, L.; ZHU, H. Herbicide retention as affected by sugarcane mulch residue. **Journal of Environmental Quality**, v. 32, n. 4, p. 1445-1454, 2003.

SIMONI, F.; VICTORIA FILHO, R.; SAN MARTIN, H.A.M.; SALVADOR, F.L.; ALVES, A.S.R.; BREMER NETO, H. Eficácia de imazapic e sulfentrazone sobre *cyperus rotundus* em diferentes condições de chuva e palha de cana-de-açúcar. **Planta daninha**, v. 24, n. 4, p. 769-778, 2006.

TANETANI, Y.; KAKU, K.; KAWAI, K.; FUJIOKA, T.; SHIMIZU, T. Action mechanism of a novel herbicide, pyroxasulfone. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 95, n. 1, p. 47-55, 2009.

WESTRA, E.P; SHANER, D.L.; BARBARICK, K.A.; KHOSLA, R. Evaluation of Sorption Coefficients for Pyroxasulfone, s-Metolachlor, and Dimethenamid-p. **Air Soil and Water Research**, v. 8, n.1, p. 9-15, 2015.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Manejo de plantas daninhas em cana-de-açúcar

A infestação de plantas daninhas é um dos mais importantes fatores que interferem de forma negativa nas culturas agrícolas, pois causa redução de produtividade, que gera aumento no custo de produção pela necessidade de controle (FONTES et al., 2003; CASTRO et al., 2017).

Na cultura de cana-de-açúcar, a infestação destas plantas pode ocasionar perdas de produtividade de até 80% (AZANIA et al., 2002), em decorrência da alelopatia ou pela competição por água, luz, nutrientes e espaço, em maior ou menor grau, dependendo de fatores como as espécies presentes na área, a densidade de ocorrência destas espécies, o grau de agressividade, e o período de convivência das mesmas com a cultura (MELO, 2015).

Dentre as plantas daninhas comuns nas áreas canavieiras, destaca-se o capim-colonião (*Panicum maximum*), que tem afetado seriamente a produção. Trata-se de uma planta de ciclo de vida perene, pertencente à família botânica Poaceae, caracterizada pela sua alta agressividade competitiva, alta capacidade de adaptação a solos de baixa fertilidade, e adaptada a várias condições climáticas, sendo classificada, como uma planta daninha de difícil controle em muitas regiões produtoras (GALLI; MONTEZUMA, 2005; MELO et al., 2013).

A dificuldade no manejo desta planta daninha ocorre em seu estágio fenológico de planta perenizada, devido a seus rizomas com altos níveis de reserva, e vigor (MELO et al., 2013), por isto a importância do controle precoce de plantas originadas de sementes, através da aplicação de herbicidas em condições de pré-emergência, pois serão mais facilmente controladas e não completaram seu ciclo, impossibilitando a disseminação de novas sementes.

Além disso, esta modalidade de aplicação fornece um período residual de controle das plantas daninhas, controlando vários fluxos de germinação, e reduzindo a competição precoce com as culturas. Os herbicidas, neste caso, são aplicados visando como alvo o solo, onde estarão disponíveis na solução do solo para absorção pelas plantas (KLEEMANN et al. 2015; KHALIL et al., 2018).

2.2. Associação entre herbicidas em cana-de-açúcar

Na maioria das vezes, as associações entre herbicidas são utilizadas com o objetivo de aumentar o número de espécies controladas, dentro do complexo de espécies de plantas

daninhas infestantes de uma área, uma vez que um herbicida pode melhorar e/ou complementar a ação do outro. Além disso, o uso de associações permite, em alguns casos, reduzir as doses de cada herbicida, o que implica em menor risco de fitotoxicidade na cultura, e possivelmente redução nos custos de controle (RONCHI et al., 2002; VIEIRA JR et al., 2015).

A interação de moléculas herbicidas é expressa através da relação de efeito de uma das moléculas na eficácia da outra. Assim, quando dois ou mais herbicidas são aplicados juntos, os efeitos observados sobre as plantas daninhas podem ser aditivos, sinérgicos ou antagonísticos, sendo os dois primeiros os desejados para o manejo (GAZZIERO, 2015). A ocorrência de antagonismo ou sinergismo dependerá, além das moléculas associadas, da planta daninha alvo, uma vez que diferentes espécies têm diferentes respostas às aplicações de herbicidas (VIDAL et al., 2003).

Um exemplo relatado de sinergismo é o caso da mistura de herbicidas com os mecanismos de ação de inibição do fotossistema II, com herbicidas inibidores da biossíntese de carotenóides. Com a inibição do fotossistema II haverá a produção de radicais livres que provocam o estresse oxidativo, que se somam aos radicais livres também produzidos com a inibição da biossíntese de carotenóides, expondo as plantas suscetíveis à um estresse maior, acelerando seu controle e impedindo que a mesma seja capaz de se recuperar (KRUSE et al., 2001).

A determinação do tipo de interação envolvida na associação de herbicidas é descrita na literatura baseando-se na metodologia proposta por Colby (1967) (MONQUERO et al., 2001; GOULART et al., 2012; BARROSO et al., 2014; TREZZI et al., 2016; ANDRADE et al., 2018).

2.3. Dinâmica de herbicidas em condições de pré-emergência

Uma das principais implicações negativas do sistema de cultivo de cana crua no manejo de herbicidas se dá pela deposição de uma camada de palhada sobre o solo, oriunda de restos vegetais como folhas, bainhas, ponteiros, e uma quantidade variável de pedaços de colmos, que irá influenciar de várias formas no controle de plantas daninhas. Esta camada de palhada pode variar de 5 a 20 toneladas por hectare (CAVENAGHI et al., 2007; MONQUERO et al., 2009).

Embora existam muitos ganhos agrônômicos em manter a superfície do solo coberta com resíduos de plantas, como por exemplo, proteção e conservação do solo, manutenção da

umidade, aumento da matéria orgânica, e melhoramento da estrutura física do solo (KHALIL et al., 2018; HADDAD et al., 2013), a presença de palhada pode dificultar o desempenho dos herbicidas aplicados em condições de pré-emergência, pois o alvo destas moléculas é o solo, para que atuem no banco de sementes (MACIEL; VELINI, 2005; SIMONI et al., 2006).

Ao entrarem em contato com o solo ou a palhada, os herbicidas podem sofrer processos de retenção como sorção e dessorção; processos de transporte como lixiviação, volatilização e deriva; e processos de transformação pela degradação química e/ou microbiológica, até serem absorvidos pelas plantas daninhas e/ou plantas cultivadas (VELINI 1992; LOCKE; BRYSON, 1997; CHRISTOFFOLETI et al., 2009; KHALIL et al., 2018).

Frente a isto, os herbicidas possuem características físico-químicas específicas para cada molécula, mesmo para aquelas pertencentes ao mesmo grupo químico, que juntamente com as condições ambientais, regem sua dinâmica no solo e na palhada (PROCÓPIO et al., 2003; CHRISTOFFOLETI et al., 2009), uma vez que a transposição da palhada para o solo é dependente, não apenas das características físico-químicas de cada molécula (TOFOLI et al., 2009), como também do tempo entre a aplicação do herbicida e a ocorrência da primeira chuva na área, bem como a sua intensidade (ALLETO et al., 2009).

Características como solubilidade em água, coeficiente de distribuição octanol-água (Kow), pressão de vapor, e coeficientes de sorção, como Koc, permitem prever a dinâmica de um herbicida, seja na palhada ou no solo, auxiliando a compreensão da capacidade de sorção, da capacidade de transposição, e da persistência no ambiente (CHRISTOFFOLETI et al., 2009).

A solubilidade em água influencia a mobilidade do herbicida através da camada de palhada, e sua capacidade de lixiviação, além de ser um coeficiente que indica a quantidade de herbicida que é disponibilizado na solução, podendo ser absorvido pelas plantas (CHRISTOFFOLETI et al., 2009; OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011).

Herbicidas com alta solubilidade em água possuem facilidade de se dissiparem no ambiente por fluxo de água, e apresentam coeficientes de sorção relativamente baixos (SILVA; MONQUERO, 2013). E, de modo geral, os valores de Kow apresentam correlação inversa com a solubilidade em água e direta com a persistência do produto no ambiente. Ou seja, quanto mais solúvel em água, menor será a sua tendência a sofrer retenção pela palhada e, conseqüentemente, menor será a sua persistência no ambiente (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011).

O conhecimento destas características é extremamente importante para o posicionamento correto da recomendação. Por exemplo, se a recomendação de um produto de

baixa solubilidade em água é feita em uma época seca do ano sobre uma camada de palhada, o mesmo pode não ser lixiviado em quantidades suficientes ao solo para promover um controle eficaz, devido à falta de precipitação ou umidade no solo (SILVA; MONQUERO, 2013).

Com isto, além das características físico-químicas, o período em que a área permanece sem chuva após a aplicação do herbicida, também influencia em sua mobilidade no ambiente, uma vez que ao permanecer por um longo período sem chuva ou irrigação sobre a palhada, os herbicidas podem ser degradados, ou ficarem fortemente adsorvidos na palhada, ao ponto de não serem remobilizados no momento em que ocorrerem precipitações (CAVENAGHI et al., 2007; NEGRISOLI et al., 2007; TOLEDO et al., 2009; ROSSI et al., 2013).

Diversos trabalhos têm sido realizados objetivando demonstrar que a permanência sob a palhada por longos períodos de seca pode reter herbicidas aplicados em pré-emergência, afetando sua mobilidade e eficácia no controle de plantas daninhas no sistema de cana crua (SIMONI et al., 2006; CAVENAGHI et al., 2007; MONQUERO et al., 2007; MONQUERO et al., 2009; TOFOLI et al., 2009; TOLEDO et al., 2009; CARBONARI; GOMES; VELINI, 2010; ROSSI et al., 2013).

Estes são um dos conhecimentos com os quais é possível explicar o sucesso ou o fracasso do manejo de plantas daninhas, a tolerância das culturas, e a persistência dos mesmos no ambiente (HURLE; WACKER, 1980).

2.4. Flumioxazin e pyroxasulfone

O flumioxazin é um herbicida registrado para uso em condições de pré-emergência, no controle de plantas daninhas dicotiledôneas e monocotiledôneas, na cultura da cana-de-açúcar. Seu mecanismo de ação é caracterizado pela inibição da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), última enzima comum das rotas de síntese do grupo heme e da clorofila, o que resulta em acúmulo de protoporfirinogênio IX no cloroplasto, e sua consequente difusão para o citoplasma, onde é rapidamente convertido para protoporfirina IX (MATRINGE; CAMADRO; SCALLA, 1989; HAO et al., 2011; RODRIGUES; ALMEIDA, 2018).

Desta forma tem-se o bloqueio na síntese de clorofila e citocromos no cloroplasto, além da protoporfirina IX ser um pigmento fotodinâmico, e seu acúmulo no citoplasma, quando em presença de luz e oxigênio molecular, originam espécies reativas de oxigênio no citoplasma, com posterior estresse oxidativo nas membranas, e extravasamento do conteúdo

celular (MATRINGE; CAMADRO; SCALLA, 1989; BEALE; WEISTEIN, 1990; JACOBS; JACOBS, 1993).

Trata-se de uma molécula de baixa solubilidade em água ($1,79 \text{ mg L}^{-1}$), baixa pressão de vapor ($2,41 \times 10^{-6} \text{ mm Hg}$), com muita afinidade pela partição lipofílica ($\log K_{ow} = 2,55$), e alta adsorção à matéria orgânica do solo ($K_{oc} = 889$) (FERRELL et al., 2005; RODRIGUES; ALMEIDA, 2018).

Já o pyroxasulfone é um herbicida, também para condições de pré-emergência, e é responsável pela inibição da biossíntese de ácidos graxos de cadeia longa (VLCFA) em plantas daninhas monocotiledôneas, e em algumas dicotiledôneas, como espécies do gênero *Amaranthus* (TANETANI et al., 2009; HARDEN et al., 2011).

Na presença deste herbicida, tem-se a inibição da atividade da acetil-CoA, que estão associadas ao retículo endoplasmático, e catalisam a síntese de ácidos graxos de cadeia muito longa (SENSEMAN, 2007). Estes ácidos graxos são precursores da síntese de membrana plasmática, e dos principais componentes da cera, cutina e suberina. Estas estruturas são responsáveis pela impermeabilização, pela proteção contra danos mecânicos e contra a perda de água pela célula vegetal, também são importantes na diferenciação e polarização no processo de divisão celular (POST-BEITTENMILLER, 1996).

Também se trata de uma molécula de baixa solubilidade em água ($3,49 \text{ mg L}^{-1}$), com muita afinidade pela partição lipofílica ($\log K_{ow} = 2,39$), e moderada adsorção à matéria orgânica do solo ($K_{oc} = 223$) (WESTRA et al., 2015; MANGIN et al., 2017).

Referências

ALLETO, L.; COQUET, Y.; BENOIT, P.; DJILALI, H.; BARRIUSO, H. Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 30, n. 1, p. 367-400, 2009.

ANDRADE, J.F.; PRESOTO, J.C.; GONÇALVES NETTO, A.; CARVALHO, S.J.P. Interação e eficácia de misturas em tanque dos herbicidas metsulfuron-methyl e glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 14, n. 4, p. 1-9, 2018.

AZANIA, A. A. P. M. AZANIA, C.A.M., GRAVENA, R., PAVANI, M.C.M.D., PITELLI, R.A. Interferência da palha de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na emergência de espécies de plantas daninhas da família Convolvulaceae. **Planta Daninha**, v. 20, n. 2, p. 207-212, 2002.

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

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

CARBONARI, C.A.; GOMES, G.L.G.L.; VELINI, E.D. Efeitos de períodos sem a ocorrência de chuva na eficácia do flumioxazin aplicado no solo e na palha de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, v. 9, n. 3, p. 81-88, 2010.

CASTRO, E.B.; CARBONARI, C.A.; VELINI, E.D.; BEN, R.; BELAPART, D.; GOMES, G.L.G.C.; MACEDO, G.C. Deposição de calda e eficácia de controle de glyphosate e saflufenacil associados a adjuvantes. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 2, p. 103-111, 2017.

CAVENAGHI, A.L.; ROSSI, C.V.S.; NEGRISOLI, E.; COSTA, E.A.D.; VELINI, E.D.; TOLEDO, R.E.B. Dinâmica do herbicida amicarbazone (Dinamic) aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 831-837, 2007.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; DAMIN, V.; CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M. **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba, 1ª edição, 72 p. 2009.

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

FERREIRA, E.A.; PROCÓPIO, S.O.; GALON, L.; FRANCA, A.C.; CONCENÇO, G.; SILVA, A.A.; ASPIAZU, I.; SILVA, A.F.; TIRONI, S.P.; ROCHA, P.R.R. Manejo de plantas daninhas em cana crua. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 915-925, 2010.

FERRELL, J.A.; VENCIL, W.K.; XIA, K.; GREY, T.L. Sorption and desorption of flumioxazin to soil, clay minerals and ionexchange resin. **Pest Management Science**, v. 61, n. 1, p. 40-46, 2005.

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

GALLI, A.J.B.; MONTEZUMA, M.C. **Alguns aspectos da utilização do herbicida glifosato na agricultura**. Monsanto do Brasil Ltda.: ACADCOM Gráfica e Editora Ltda., 2005. 67 p.

GAZZIERO, D.L.P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha**, v. 33, n. 1, p. 83-92, 2015.

GOULART, I.C.G.R.; NUNES, A.L.; KUPAS, V.; MEROTTO JR, A. Interações entre herbicidas e protetores para o controle de capim-annoni em pastagem natural. **Ciência Rural**, v. 42, n. 10, p. 1722-1730, 2012.

HADDAD, N.; PIGGIN, C.; HADDAD, A.; KHALIL, Y. Conservation agriculture in west Asia. In: JAT, R.A.; SAHRAWAT, K.L.; KASSAM, A. (Coord.). **Conservation Agriculture: global prospects and challenges**. Wallingford, UK, CAB International, 2013. p. 248-262.

HAO, G.F.; ZUO, Y.; YANG, S.G.; YANG, G.F. Protoporphyrinogen oxidase inhibitor: an ideal target for herbicide discovery. **Chemistry in China**, v. 65, n. 12, p. 961-969, 2011.

HARDEN, J.; THOMAS, W.; BOND, R.C.; BOWE, S.R.; HONDA, H.; YAMAJI, Y. Residual control of *Amaranthus* and other key weeds in corn and soybean with pyroxasulfone. In: Southern Weed Science Society Meeting, 64, 2011, San Juan. **Proceedings...** San Juan: SWSS, 2011. p. 49.

HURLE, K.; WACKER, A. Persistence and its prediction. In: HANCE, R. S. **Interaction between herbicides and the soil**. New York: Academic Press, cap. 4, p. 83-122, 1980.

JACOBS, J. M.; JACOBS N. J. Porphyrin accumulation and export by isolated barley (*Hordeum vulgare*) plastids. **Plant Physiology**, v. 101, n. 4, p. 1181-1187, 1993.

KHALIL, Y.; FLOWER, K.; SIDDIQUE, K.H.M.; WARD, P. Rainfall affects leaching of pre-emergent herbicide from wheat residue into the soil. **Plos one**, v. 14, n. 2, p. 1 - 14, 2018.

KLEEMANN, S.; DESBIOLLES, J.; GILL, G.; PRESTON, C. Seeding systems and pre-emergence herbicides. **GRDC**, 2015. Disponível em <<https://grdc.com.au/resources-and-publications/grdc-update-papers/tab-content/grdc-update-papers/2015/02/seeding-systems-and-pre-emergence-herbicides>>. Acesso em: 14 de Março de 2020.

KRUSE, N.D.; VIDAL, R.A.; BAUMAN, T.T.; TREZZE, M.M. Sinergismo potencial entre herbicidas inibidores do fotossistema II e da síntese de carotenóides. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, p. 569-575, 2001.

LOCKE, M.A.; BRYSON, C.T. Herbicide-soil interaction in reduced tillage and plant residue management systems. **Weed Science**, v. 45, n. 2, p. 307-320, 1997.

LORENZI, H. Plantas daninhas e seu controle na cultura da cana-de-açúcar. In: Seminário de tecnologia agrônômica, 4, 1988, Piracicaba. **Anais...** São Paulo: COOPERSUCAR, 1988. p.281-301.

MACIEL, C.D.G.; VELINI, E.D. Simulação do caminhamento da água da chuva e herbicidas em palhadas utilizadas em sistemas de plantio direto. **Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 471-481, 2005.

MANGIN, A.R.; HALL, L.M.; SCHOENAU, J.J.; BECKIE, H. Influence of tillage on control of wild oat (*Avena fatua*) by the soil-applied herbicide pyroxasulfone. **Weed Science**, v. 65, n. 2, p. 266-274, 2017.

MATRINGE, M.J; CAMADRO, J.M.; SCALLA, R. Protoporphyrinogen oxidase as a molecular target for diphenyl ether herbicides. **Biochemistry Journal**, v. 26, n. 1, p. 231-235, 1989.

MELO, E.B.; SILVA, A.A.P.; OLIVEIRA NETO, A.M.; GUERRA, N.; VILAR, C.C.; BOTTEGA, E.L.; MACIEL, C.D.G. Alternativas para a catação química de touceiras de capim-colonião e capim-braquiária em cana-soca. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 3, p. 307-317, 2013.

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

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

MONQUERO, P.A.; AMARAL, L.R.; SILVA, A.C.; BINHA, D.P.; SILVA, P.V. Eficácia de herbicidas em diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar no controle de *Ipomoea grandifolia*. **Bragantia**, v. 68, n. 2, p. 367-372, 2009.

MONQUERO, P.A.; AMARAL, L.R.; SILVA, A.C.; SILVA, P.V.; BINHA, D.P. Eficácia de herbicidas em diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar no controle de *Euphorbia heterophylla*. **Planta Daninha**, v. 25, n. , p. 613-619, 2007.

NEGRISOLI, E.; VELINI, E.D.; ROSSI, C.V.S.; CORREIA, T.M.; COSTA, A.G.F. Associação do herbicida tebuthiuron com a cobertura de palha no controle de plantas daninhas no sistema de cana-crua. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 621-628, 2007.

OLIVEIRA, M.F.; BRIGHENTI, A.M. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba: Editora Omnipax, 2011. Cap. 11, p. 263-304.

POST-BEITTENMILLER, D. Biochemistry and molecular biology of wax production in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.47, n. 1, p. 405-430, 1996.

PROCÓPIO, S.O.; SILVA, A.A.; VARGAS, L.; FERREIRA, F.A. **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar**. Viçosa, 150 p. 2003.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 7ª ed. Londrina, 764p. 2018.

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

ROSSI, C.V.S. et al. Dinâmica do herbicida metribuzin aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 223-230, 2013.

SENSEMAN, S.A. **Herbicide Handbook**. Lawrence: WSSA, 9º ed. 458 p. 2007.

SILVA, P.V.; MONQUERO, P.A. Influência da palha no controle químico de plantas daninhas no sistema de cana crua. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 1, p. 94- 103, 2013.

SIMONI, F.; VICTORIA FILHO, R.; SAN MARTIN, H.A.M.; SALVADOR, F.L.; ALVES, A.S.R.; BREMER NETO, H. Eficácia de imazapic e sulfentrazone sobre *Cyperus rotundus* em diferentes condições de chuva e palha de cana-de-açúcar. **Planta daninha**, v. 24, n. 4, p. 769-778, 2006.

TANETANI, Y.; KAKU, K.; KAWAI, K.; FUJIOKA, T.; SHIMIZU, T. Action mechanism of a novel herbicide, pyroxasulfone. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 95, n. 1, p. 47-55, 2009.

TOFOLI, G.R. VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E.; CAVENAGHI, A.L. MARTINS, D. Dinâmica do tebuthiuron em palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 27, n. 4, p. 815-821, 2009.

TOLEDO, R.E.B.; PERIM, L.; NEGRISOLI, E.; CORRÊA, M.R.; CARBONARI, C.A.; ROSSI, C.V.S.; VELINI, E.D. Eficácia do herbicida amicarbazone aplicado sobre a palha ou no solo no controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 319-326, 2009.

TREZZI, M.M.; DIESEL, F.; KRUSE, N.D.; XAVIER, E; PAZUCH, D.; PAGNONCELLI JR., F.; BATISTEL, S.C. Interactions of saflufenacil with other herbicides promoters of oxidative stress to control joyweed. **Planta Daninha**, v. 34, n. 2, p. 319-326, 2016.

VELINI, E.D. Comportamento de herbicidas no solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE MANEJO DE PLANTAS DANINHAS EM HORTALIÇAS, Botucatu-SP. **Anais...** p. 44-64, 1992.

VIDAL, R.A.; MACHRY, M.; HERNANDES, G.C.; FLECK, N.G. Antagonismo na associação de glyphosate e triazinas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 301-306, 2003.

VIEIRA JR, N.S.; JAKELAITIRS, A.; CARDOSO, I.S.; REZENDE, P.N.; MORAES, N.C.; ARAÚJO, V.T.; TAVARES, C.J. Associação de herbicidas aplicados em pós-emergência na cultura do milho. **Global Science and Technology**, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2015.

WESTRA, E.P; SHANER, D.L.; BARBARICK, K.A.; KHOSLA, R. Evaluation of Sorption Coefficients for Pyroxasulfone, s-Metolachlor, and Dimethenamid-p. **Air Soil and Water Research**, v. 8, n.1, p. 9-15, 2015.

3. EFICÁCIA E INTERAÇÃO DA ASSOCIAÇÃO DE FLUMIOXAZIN E PYROXASULFONE NO CONTROLE DE CAPIM-COLONIÃO (*Panicum maximum*)

Resumo

A infestação de espécies de plantas daninhas de difícil controle em uma cultura agrícola exerce efeitos diretos de interferência negativa no crescimento e desenvolvimento da cultura, competindo por água, luz e nutrientes; além de dificultar a colheita, e no caso específico da cultura de cana-de-açúcar, além destes efeitos, podem reduzir a longevidade do canavial. O capim-colonião (*Panicum maximum*) é uma das plantas daninhas que além de ser frequente na cultura é de difícil controle. Normalmente, a mistura formulada de herbicidas em condições de pré-emergência é utilizada na cultura de cana-de-açúcar, para se alcançar um maior espectro de ação, longo efeito residual e para redução de custos. No entanto, uma mistura de duas moléculas pode resultar em efeitos diversos, como antagonismo, sinergismo, ou aditivismo, portanto, é importante conhecer a interação envolvida em cada mistura utilizada. Desta forma, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar possíveis interações da associação dos herbicidas flumioxazin e pyroxasulfone aplicados em condições de pré-emergência, bem como avaliar a eficácia de controle da mistura. O ensaio foi conduzido em condições de casa-de-vegetação, utilizando a planta daninha capim-colonião, semeada em vasos plásticos com capacidade de 5 L, e os tratamentos constaram de esquema fatorial 4x4, quatro doses do herbicida flumioxazin (0, 50, 100 e 200 g ha⁻¹), e quatro doses do herbicida pyroxasulfone (0, 50, 100 e 200 g ha⁻¹). Adotou-se o esquema experimental de blocos ao acaso, com avaliações percentuais de controle, e massa seca residual aos 35 dias após a aplicação (DAA). Os dados da interação foram analisados utilizando-se o modelo de Colby, e os dados de eficácia de controle foram analisados através do teste F e do teste Tukey. A eficácia da associação entre os herbicidas flumioxazin e pyroxasulfone sobre a planta daninha capim-colonião (*Panicum maximum*), foi comprovada na aplicação em condições de pré-emergência, com médias acima de 90% de controle. A interação entre os herbicidas flumioxazin e pyroxasulfone foi considerada aditiva pelo modelo de Colby, sendo o controle de capim-colonião favorecido sempre que a dose de cada herbicida é aumentada.

Palavras-chave: Manejo, Cana-de-açúcar, Sinergismo, Antagonismo, Aditivismo

EFFECTIVENESS AND INTERACTION OF THE ASSOCIATION OF FLUMIOXAZIN AND PYROXASULFONE IN THE CONTROL OF GUINEAGRASS (*Panicum maximum*)

Abstract

The hard to kill weed infestation in an crop has direct effects of negative interference on the growth and development of the crop, competing for water, light and nutrients; as well affect crop quality and harvest operation, and specifically in sugarcane may reduce the longevity of the cane field. The guineagrass (*Panicum maximum*), is a very common weed in sugarcane, and classified by growers as hard to kill. Normally, formulated mixture of herbicides, applied in pre-emergence conditions is used to achieve a greater weed species spectrum, longer residual effect, and lower the costs. However, a mixture of two molecules can cause diverse effects, such as antagonism, synergism or additives effects, therefore, it is important to know the interaction involved in each mixture used. In this way, this work was developed with the objective of evaluating possible interactions of the association of the herbicides flumioxazin and pyroxasulfone applied in pre-emergence conditions, as well as to evaluate the effectiveness of control of the mixture. It was conducted in greenhouse

conditions, seeding the weed guineagrass in plastic pots 5 L capacity, and the treatments consisted of a 4x4 factorial scheme, four flumioxazin rates (0, 50, 100 and 200 g ha⁻¹) and four pyroxasulfone rates (0, 50, 100 and 200 g ha⁻¹). The experimental design was randomized block, with percentage control and residual dry mass evaluations at, 35 days after application (DAA). The interaction data were analyzed using the Colby model, and the control effectiveness data were analyzed using the F test, followed by Tukey test, when significant. The effectiveness of the association between the herbicides flumioxazin and pyroxasulfone on the weed-grass (*Panicum maximum*), was proven in the application in pre-emergence conditions, with averages above 90% of control. The interaction between the herbicides flumioxazin and pyroxasulfone was considered additive by the Colby model, with the control of colimgass favored whenever the dose of each herbicide is increased.

Keywords: Management, Sugarcane, Synergism, Antagonism, Additive

3.1. Introdução

O potencial edafoclimático do Brasil é condição favorável à produção agrícola, como a cana-de-açúcar. Entretanto, existe uma série de fatores que podem prejudicar a produtividade da cultura. A infestação de plantas daninhas é um dos fatores principais, podendo reduzir a produtividade em até 80% (AZANIA et al., 2002) e aumentar significativamente os custos de produção ao competirem por água, luz e nutrientes, além de dificultar a colheita e reduzir a qualidade do produto colhido (SANTOS et al., 2011; ARALDI et al., 2015).

O capim-colonião é uma espécie de destaque em áreas canavieiras, pois se trata de uma planta perene, com um sistema radicular forte e vigoroso, propagando-se tanto através de sementes como de forma vegetativa mentes, sendo considerada uma planta daninha de difícil controle em áreas canavieiras (KISSMANN; GROTH, 1997; SILVA et al., 2018). Por exemplo, em áreas com infestações de capim-colonião, a redução na produtividade pode ser superior a 50% (KUVA, 1999), enquanto a infestação somada de capim-colonião à capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) reduziu a produtividade da cultura em 40% (KUVA et al., 2003).

As aplicações herbicidas em condições de pré-emergência são as mais utilizadas para o manejo de plantas daninhas (HERNANDEZ; ALVES; MARTINS, 2001), pois garantem um efeito residual prolongado, e eficácia de controle durante o período crítico de competição com a cultura de cana-de-açúcar (CARBONARI et al., 2010). A adoção desta modalidade de aplicação é consequência, principalmente, do maior espaçamento adotado, da ordem de 1,50 m entrelinhas, focado na colheita mecanizada, o que estende o tempo necessário para que a cultura consiga fechar seu dossel, e ainda, a mesma unidade produtiva (usina de açúcar e

álcool), com frequência, administra áreas muito extensas, de modo que o uso de pré-emergentes é fundamental para a logística da unidade.

No entanto, para o sucesso da aplicação é importante considerar que a cultura é plantada (cana planta) ou cortada (cana soca) em diferentes épocas durante o ano (épocas de baixa precipitação pluvial e épocas de alta precipitação pluvial), o que reflete em diferentes condições ambientais de manejo durante o ano (SANTOS et al., 2011; MALARDO, 2019). Esta variação proporciona ambientes adequados para o desenvolvimento de um grande número de espécies.

Desta forma, os herbicidas precisam possuir amplo espectro de controle para se adequar às exigências da cultura e, neste aspecto, tornam-se importantes as associações de herbicidas a fim de complementar a aplicação e reduzir os custos de produção (SANTOS; SOUZA; CARVALHO, 2011).

Porém, a combinação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação pode resultar em efeitos sinérgicos, antagônicos ou aditivos (COLBY, 1967). Associações que resultam em efeitos sinérgicos ou aditivos despertam interesse, pois permitem aumentar o espectro de ação e o uso de doses mais baixas, o que representa redução de custos de produção. Já associações que resultam em efeitos antagônicos influenciam negativamente o desempenho dos herbicidas, podendo resultar em incompatibilidade, ou exigir aumento da dose e/ou aplicação dos herbicidas separadamente, elevando os custos de produção (KRUSE et al., 2001; TREZZI et al., 2007; TREZZI et al., 2016).

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia e a interação da associação de flumioxazin + pyroxasulfone, em diversas combinações de doses, aplicadas em condições de pré-emergência do capim-colonião.

3.2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado em casa-de-vegetação do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, em Piracicaba - SP (Latitude: 22° 42' 32" S, Longitude: 47° 37' 43" O e 550 m de altitude), durante o ano de 2019.

O experimento foi instalado seguindo o modelo de delineamento experimental de blocos ao acaso onde cada parcela constou de um vaso com capacidade para 5,0 L. Os tratamentos constaram de esquema fatorial 4 x 4, quatro doses do herbicida flumioxazin (0,

50, 100 e 200 g ha⁻¹), e quatro doses do herbicida pyroxasulfone (0, 50, 100 e 200 g ha⁻¹), resultando em 16 tratamentos com quatro repetições.

Inicialmente, os vasos foram preenchidos com Latossolo Vermelho Distrófico oriundo de camada arável, previamente peneirado. Esse solo foi coletado de área sem histórico de utilização de herbicidas, e foi caracterizado no laboratório de solos da ESALQ/USP em relação às suas características químicas e físicas: pH (CaCl₂) 5,3; M.O. 18 g dm⁻³; SB 41,8 mmol_c dm⁻³; CTC 66,8 mmol_c dm⁻³; 54% de areia; 41% de argila e 5% de silte.

As sementes de capim-colonião foram adquiridas na empresa Agro Cosmos (Cosmos Agrícolas Produção e Serviços Rurais Ltda.), situada no município de Engenheiro Coelho/SP. Sendo semeadas 0,3 g de sementes por vaso. Logo após a semeadura, as pulverizações foram realizadas em total pré-emergência do capim-colonião. Para tanto, foi utilizado pulverizador costal de precisão, pressurizado por CO₂, acoplado a ponta do tipo TeeJet XR 110.02, posicionada a 0,50 m dos alvos, com consumo relativo de calda de 200 L ha⁻¹. Posteriormente, todas as parcelas foram mantidas com irrigação de 4 mm dia⁻¹.

Em seguida, avaliou-se o controle percentual do capim-colonião aos 35 dias após aplicação (DAA), bem como a massa seca residual aos 35 DAA. Para as avaliações de controle percentual, foi atribuída uma nota visual de controle variando de 0% no caso da ausência de sintomas causados pelos herbicidas, e 100% para a morte das plantas, segundo o método proposto pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD, 1995). A massa seca residual foi obtida a partir da colheita do material vegetal remanescente nas parcelas, com posterior secagem em estufa a 70°C por 72 horas. A porcentagem de redução de massa seca residual (Rm), em relação a testemunha, foi calculada seguindo a equação:

$$Rm = 100 - \frac{(\text{Massa seca residual da planta tratada} \times 100)}{\text{Massa seca residual da testemunha}}$$

Em que a massa seca residual da testemunha foi a média dos valores obtidos na ausência da aplicação do herbicida. Todos os dados obtidos de controle e redução de massa foram submetidos ao teste F, seguidos do teste Tukey, ambos com 5% de significância.

Para os dados de interação das associações, tanto o controle e a redução de massa seca, foram analisadas segundo o modelo proposto por Colby (1967), assim como outras literaturas que também avaliaram a interação de associações de herbicidas, tanto aplicados em condições de pré-emergência quanto de pós-emergência (LINCH et al., 1997; STARKE;

OLIVER, 1998; MONQUERO et al., 2001; GOULART et al., 2012; BARROSO et al., 2014; TREZZI et al., 2016; ANDRADE et al., 2018).

Este método consiste no cálculo de um valor teórico de eficácia de controle (valor esperado) como resultado da mistura de duas moléculas a partir da fórmula:

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

Em que: X é a porcentagem de inibição do crescimento (controle observado) pelo flumioxazin na dose isolada x ; Y é a porcentagem de inibição do crescimento (controle observado) pelo herbicida pyroxasulfone na dose isolada y ; e E é a porcentagem de controle esperada (eficácia esperada) da mistura dos herbicidas na mesma dose ($x + y$) (COLBY, 1967). Assim, considerando-se os dados de controle observados, são calculados os dados esperados, bem como a comparação dos valores observados e esperados por meio do teste de 't', com 5% de significância.

Uma mistura será considerada sinérgica em determinada dose, quando sua eficácia observada for significativamente maior que a eficácia somada das aplicações isoladas de cada herbicida; será considerada aditiva quando a eficácia observada for semelhante à eficácia esperada; e antagônica quando a eficácia observada for inferior, estatisticamente, à eficácia esperada da mistura.

3.3. Resultados e Discussão

Considerando o controle percentual do herbicida flumioxazin isolado aos 35 DAA, o controle do capim-colonião se manteve acima de 80% em todas as doses, com progressão no controle em resposta ao aumento da dose. Porém, a dose de 200 g ha⁻¹ foi a única a promover um controle estatisticamente superior para a espécie nas doses isoladas (97,5%) (Tabela 3.1).

Embora o herbicida flumioxazin tenha sido inicialmente considerado como um latifolicida, trabalhos na literatura evidenciam sua eficácia sobre algumas gramíneas quando em pré-emergência, como é o caso do capim-colonião na dose de 125 g ha⁻¹ (NICOLAI et al., 2010; RODRIGUES; ALMEIDA, 2018), o que se evidenciou no experimento com o incremento da dose.

Resultados semelhantes de Carbonari et al. (2010), evidenciam a eficácia do flumioxazin em espécies gramíneas, onde a aplicação em pré-emergência de 150 g ha⁻¹

promoveu controle de 100% das espécies *Brachiaria decumbens* (capim-braquiária) e *Digitaria horizontalis* (capim-colchão).

Já o herbicida pyroxasulfone, ao contrário do flumioxazin, é um graminicida com espectro de ação em algumas dicotiledôneas, fato que se nota em todas as doses isoladas de pyroxasulfone, onde o controle foi equivalente estatisticamente, e se manteve sempre acima de 90% (Tabela 3.1).

Resultados semelhantes foram obtidos por Marcussi et al. (2018a) em um estudo da eficácia e seletividade do pyroxasulfone na cultura de cana-de-açúcar, obtendo além da seletividade para a cultura, um controle eficaz das plantas daninhas *P. maximum*, *B. decumbens*, *D. horizontalis* e *Rottboellia exaltata* (capim-camalote) em doses a partir de 150 g ha⁻¹. Outros resultados de controle eficaz em gramíneas são também relatados por Currie e Regehr (2005), Knezevic et al. (2009) e por Olson et al. (2011).

Quando comparados em associação, foram nove possíveis combinações de dose, onde todas se mantiveram acima de 90% (Tabela 3.1). Nestes casos, o incremento das doses dos herbicidas também eleva os níveis de controle do capim-colônia.

Em concomitância a esses resultados, Morota et al. (2018) verificaram que o sistema de manejo de plantas daninhas na cultura de soja com a associação de glyphosate (1440 g ha⁻¹ na pré-semeadura + 720 g ha⁻¹ em pós-emergência), pyroxasulfone (100 g ha⁻¹ na pré-semeadura) e flumioxazin (60 g ha⁻¹ na pré-semeadura) proporcionou controle de 100% para *Eleusine indica* (capim-pé-de-galinha) e 91%, para *Digitaria insularis* (capim-amargoso) 45 dias após a semeadura. Assim como Marcussi et al. (2018b), que observaram eficácia da mistura na dose de 150 g ha⁻¹ de cada molécula para o controle de *D. insularis* na cultura de citros.

Tabela 3.1. Controle percentual¹ de capim-colonião (*Panicum maximum*) após aplicação de diferentes doses dos herbicidas flumioxazin e pyroxasulfone, isoladas ou em associação, na condição de pré-emergência, avaliados aos 35 DAA. Piracicaba - SP, 2020.

Flumioxazin (g ha ⁻¹)	Pyroxasulfone (g ha ⁻¹)			
	0	50	100	200
Avaliação de controle aos 35 dias após aplicação DMS _{5%} = 6,64				
0	0,0 C b	95,0 AB a	98,7 A a	100,0 A a
50	82,5 B c	90,0 B b	100,0 A a	100,0 A a
100	85,0 B b	97,5 A a	100,0 A a	100,0 A a
200	97,5 A a	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a
CV = 3,90	F _{int} = 158,885*	F _{flu} = 172,264*	F _{pyr} = 339,206*	

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

Quando comparados pela porcentagem de redução de massa seca, os dados de controle se confirmam quantitativamente (Tabela 3.2). A eficácia de controle inferior pelos dois tratamentos de flumioxazin pode ter ocorrido devido ao emprego da baixa dose. No entanto, o emprego de doses baixas é importante para avaliação da contribuição de cada molécula para elevação do nível de controle da espécie, pois doses elevadas promoveriam 100% do controle, mascarando os efeitos desejados nas avaliações.

Neste caso é possível notar que ambas as moléculas elevam o nível de controle do capim-colonião, sendo o pyroxasulfone mais pronunciado desde a menor dose estudada. Para as combinações testadas, o controle de 100% aos 35 DAA é alcançado com doses a partir de 50 g ha⁻¹ de pyroxasulfone + 200 g ha⁻¹ de flumioxazin ou 100 g ha⁻¹ de pyroxasulfone + 50 g ha⁻¹ de flumioxazin. Porém, é importante ressaltar que doses mais elevadas podem garantir maiores períodos residuais, embora não tenha sido o foco deste trabalho.

Tabela 3.2. Porcentagem de redução de massa seca¹ de capim-colonião (*Panicum maximum*) após aplicação de diferentes doses dos herbicidas flumioxazin e pyroxasulfone, isoladas ou em associação, na condição de pré-emergência, avaliados aos 35 DAA. Piracicaba - SP, 2020.

Flumioxazin (g ha ⁻¹)	Pyroxasulfone (g ha ⁻¹)			
	0	50	100	200
Porcentagem de redução de massa seca aos 35 dias após aplicação DMS _{5%} = 10,25				
0	0,0 C b	98,0 A a	100,0 A a	100,0 A a
50	69,8 B b	96,1 A a	100,0 A a	100,0 A a
100	67,6 B b	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a
200	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a
CV = 6,08	F _{int} = 58,992*	F _{flu} = 61,035*	F _{pyr} = 220,156*	

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

Quanto ao tipo interação da mistura, o modelo de Colby foi aplicado para os dados de percentual de controle e percentual de redução de massa, no entanto, para este último todas as combinações foram consideradas aditivas, de modo que os dados não serão apresentados.

Para o percentual de controle, a adição de 50 g ha⁻¹ de flumioxazin à calda de 50 g ha⁻¹ de pyroxasulfone resultou em decréscimo na porcentagem de controle quando comparado à aplicação isolada de 50 g ha⁻¹ de pyroxasulfone. Esta redução poderia ser caracterizada como antagonista sob o ponto de vista didático por meio do modelo aplicado, no entanto, do ponto de vista prático este antagonismo não é representativo, uma vez que o controle obtido com a mistura foi de 90% e que segundo Frans et al. (1986), a eficácia mínima de controle aceitável para um tratamento herbicida é de 80% (Tabela 3.3).

Não há evidências que relacionem o antagonismo para a associação destas moléculas, já que cada molécula atua em mecanismos de ação distintos e tampouco observou-se incompatibilidade física da calda de pulverização. Para as demais combinações testadas não foi identificado efeito negativo ou positivo da mistura dos herbicidas, resultando em interação aditiva das moléculas, de forma que os controles obtidos já eram os esperados com a aplicação de cada molécula isolada segundo o modelo proposto (Tabela 3.3).

Tabela 3.3. Análise de interação da associação de flumioxazin e pyroxasulfone avaliada 35 DAA. DMS_{5%} = 5,016. Piracicaba - SP, 2020.

Flumioxazin (g ha ⁻¹)	Pyroxasulfone (g ha ⁻¹)								
	50			100			200		
	Obs. ¹	Esp. ²	Int. ³	Obs. ¹	Esp. ²	Int. ³	Obs. ¹	Esp. ²	Int. ³
50	90,0	99,3	-	100,0	99,8	=	100,0	100,0	=
100	97,5	99,1	=	100,0	99,8	=	100,0	100,0	=
200	100,0	100,0	=	100,0	100,0	=	100,0	100,0	=

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

Há relatos na literatura que ressaltam a eficácia destes herbicidas associados sobre espécies dicotiledôneas (MARCUSI et al., 2018b; DOTRAY et al., 2018; BEAM et al., 2019). Com isto, a soma destes resultados indica a utilização promissora desta associação para o sistema de cana-de-açúcar, não só pela eficácia de controle de capim-colonião já na menor dose estudada, como pela ampliação do espectro de controle de cada herbicida.

3.4. Conclusões

A eficácia da associação entre os herbicidas flumioxazin e pyroxasulfone sobre a planta daninha capim-colonião (*Panicum maximum*), foi comprovada na aplicação em condições de pré-emergência, com médias acima de 90% de controle.

A interação entre os herbicidas flumioxazin e pyroxasulfone foi considerada aditiva pelo modelo de Colby, sendo o controle de capim-colonião favorecido sempre que a dose de cada herbicida é aumentada.

Referências

ANDRADE, J.F.; PRESOTO, J.C.; GONÇALVES NETTO, A.; CARVALHO, S.J.P. Interação e eficácia de misturas em tanque dos herbicidas metsulfuron-methyl e glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 14, n. 4, p. 1-9, 2018.

ARALDI, R.; VELINI, E.D.; GOMES, G.L.G.C.; TROPALDI, L.; SILVA, I.P.F.; CARBONARI, C.A. Performance of herbicides in sugarcane straw. **Ciência Rural**, v. 15, n. 12, p. 2106-2112, 2015.

AZANIA, A. A. P. M. AZANIA, C.A.M., GRAVENA, R., PAVANI, M.C.M.D., PITELLI, R.A. Interferência da palha de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) na emergência de espécies de plantas daninhas da família Convolvulaceae. **Planta Daninha**, v. 20, n. 2, p. 207-212, 2002.

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

BEAM, S.C.; CHAUDHARI, S.; JENNINGS, K.M.; MONKS, D.W.; MEYERS, S.L.; SCHULTHEIS, J.; WALDSCHMIDT, M.; MAIN, J.L. Response of Palmer Amaranth and Sweetpotato to Flumioxazin/Pyroxasulfone. **Weed Technology**, v. 33, n. 1, p. 128-134, 2018.

CARBONARI, C.A.; GOMES, G.L.G.L.; VELINI, E.D. Efeitos de períodos sem a ocorrência de chuva na eficácia do flumioxazin aplicado no solo e na palha de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 9, n. 3, p. 81-88, 2010.

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

CURRIE, R.S.; REGEHR, D.L. Comparisons of KIH- 485 and s-metolachlor for weed control in corn. In: North Central Weed Science Society Meeting, 2005, Kansas City. **Proceedings...** Kansas City: NCWSS, 2005. p.84.

DOTRAY, P.A.; BAUGHMAN, T.A.; GRICHAR, W.J.; WOODWARD, J.E. Desempenho da piroxassulfona no controle de *Amaranthus palmeri* e *Salsola kali* em amendoim. **Revista de Agricultura Experimental Internacional**, v. 23, n. 2, p. 1-10, 2018.

FRANS R.E.; TALBERT R.; MARX D.; CROWLEY H. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. In: Camper ND (Ed.) **Research methods in weed science**. 3.ed. Champaign, Southern Weed Science Society, 1986, p. 29-46.

GOULART, I.C.G.R.; NUNES, A.L.; KUPAS, V.; MEROTTO JR., A. Interações entre herbicidas e protetores para o controle de capim-annoni em pastagem natural. **Ciência Rural**, v. 42, n. 10, p.1722-1730, 2012.

HAO, G. F.; ZUO, Y.; YANG, S. G.; YANG, G. F. Protoporphyrinogen oxidase inhibitor: an ideal target for herbicide discovery. **Chemistry in China**, v. 65, n. 12, p. 961-969, 2011.

HERNANDEZ, D. D.; ALVES, P. L. C. A.; MARTINS J. V. F. Influência do resíduo de colheita de cana-de-açúcar sem queima sobre a eficiência dos herbicidas imazapic e imazapic + pendimethalin. **Planta Daninha**, v. 19, n. 3, p. 419-426, 2001.

KISSMANN, K.G.; GROTH D. **Plantas infestantes e nocivas**. São Paulo: BASF Brasileira; 1997. Tomo I. p.675-8

KNEZEVIC, S.Z.; DATTA, A.; SCOTT, J.; PORPIGLIA, P.J. Dose-response curves of KIH-485 for preemergence weed control in corn. **Weed Technology**, v. 23, n. 1, p. 34-39, 2009.

KRUSE, N.D.; VIDAL, R.A.; BAUMAN, T.T. TREZZI, M.M. Sinergismo potencial entre herbicidas inibidores do Fotossistema II e da síntese de carotenóides. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, p. 569-575, 2001.

KUVA, M.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; PITELLI, R.A. Critical period of competition between sugarcane and weeds in Brazil. **Weed Science**, v. 39, n. 1, p. 1-25, 1999.

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

MALARDO, M. R. **Influência da lâmina de chuva e do período de seca na eficácia de controle de capim-colonião (*Panicum maximum*) por herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Ciências), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2019. Piracicaba: ESALQ, 2019. 81p.

MARCUSSI, S.A.; VELHO, G.F.; MONTEIRO, I.M.C.; OLIVEIRA, P.A.; HAVRYLUK, J.C.; SOUZA JR., S.P. Análise associação de flumioxazina + pyroxasulfone no controle de pré-emergência de plantas daninhas na cultura do citros. In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, 31., 2018, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCPD, 2018b. p.491.

MARCUSSI, S.A.; VELHO, G.F.; OLIVEIRA, P.A.; MONTEIRO, I.M.C.; HAVRYLUK, J.C.; SCHERER, M.B.; LIMA SOBRINHO, R.R. Análise do ativo pyroxasulfone no controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar aplicado em pré-emergência. In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, 31., 2018, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCPD, 2018a. p.495.

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

MOROTA F. K.; MATTE W. D.; OLIVEIRA JUNIOR R. S.; BIFFE D. F.; FRANCHINI L. H. M.; CONSTANTIN J. Sistemas de manejo de plantas daninhas utilizando o novo herbicida pyroxasulfone visando ao controle químico de gramíneas em soja, **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 2, p. 10, 2018.

NICOLAI, M.; OBARA, F. E. B.; ROSA, L. E.; MELO, M. S. C.; SOUZA JUNIOR, J. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Determinação de doses ótimas de controle do herbicida flumioxazina por meio de curvas de dose-resposta - gramíneas. **RESUMOS**. In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, 2010, Ribeirão Preto. XXVII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas. Londrina: SBCPD, 2010. p. 168-172

OLSON, B.L.S.; ZOLLINGER, R.K.; THOMPSON, C.R.; PETERSON, D.E.; JENKS, B.; MOEHNIG, M.; STAHLMAN, P.W. Pyroxasulfone with and without sulfentrazone in sunflower (*Helianthus annuus*). **Weed Technology**, v. 25, n. 2, p. 217-221, 2011.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 7ª ed. Londrina, 764p. 2018.

ROSSI, C. V. S. **Controle de plantas daninhas pelos herbicidas metribuzin e isoxaflutole em soqueiras de cana-de-açúcar, na ausência e presença de palha**. 2007. 152p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2007.

SANTOS, E. C.; SOUZA, P. A.; CARVALHO, F. T. Eficácia do S-metolachlor associado à ametrina e hexazinona+diuron no controle pré e pós-emergente de plantas daninhas em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 165-175, 2011.

SILVA JR., A.C.; GONÇALVES, C.G.; SCARANO, M.C.; PEREIRA, M.R.R.; MARTINS, D. Effect of glyphosate on guineagrass submitted to different soil water potential. **Planta Daninha**, v. 36, n. 1, p. 1-12, 2018.

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

STAKER, R. J.; OLIVER, L. R. Interaction of glyphosate with chlorimuron, fomesafen, imazethapyr and sulfentrazone. **Weed Science**, v. 46, n. 6, p. 652-660, 1998.

TANETANI, Y.; KAKU, K.; KAWAI, K.; FUJIOKA, T.; SHIMIZU, T. Action mechanism of a novel herbicide, pyroxasulfone. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 95, n. 1, p. 47-55, 2009.

TREZZI, M.M.; DIESEL, F.; KRUSE, N.D.; XAVIER, E; PAZUCH, D.; PAGNONCELLI JR., F.; BATISTEL, S.C. Interactions of saflufenacil with other herbicides promoters of oxidative stress to control joyweed. **Planta Daninha**, v. 34, n. 2, p. 319-326, 2016.

TREZZI, M.M.; MATTEI, D.; VIDAL, R.A.; KRUSE, N.D. GUSTMAN, M.S.; VIOLA, R.; MACHADO, A.; SILVA, H.L. Antagonismo das associações de clodinafopropargyl com metsulfuron methyl e 2,4-D no controle de azevém (*Lolium multiflorum*). **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 839-847, 2007.

4. INFLUÊNCIA DO PERÍODO DE SECA NA EFICÁCIA DE CONTROLE DE FLUMIOXAZIN E PYROXASULFONE EM AMBIENTE DE CANA-DE-AÇÚCAR.

Resumo

O sucesso das aplicações de herbicidas em condições de pré-emergência na cultura da cana-de-açúcar depende de alguns fatores como as características físico-químicas dos herbicidas, bem como suas interações com os fatores ambientais, com os atributos do solo, e com a presença de palha, resultante da colheita de cana crua na área. Além disso, o tempo em que o herbicida permanecerá no solo ou na palha após a aplicação, sem a ocorrência de chuvas, também pode influenciar na eficácia da aplicação, uma vez que as moléculas podem ser degradadas, volatilizadas, ou adsorvidas nas superfícies. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes períodos de permanência dos herbicidas flumioxazin e pyroxasulfone no solo e na palha de cana-de-açúcar, antes da ocorrência da primeira chuva simulada, isolados, e em mistura comercial. Foram conduzidos seis experimentos independentes, em condições de casa-de-vegetação, onde cada herbicida (flumioxazin; pyroxasulfone; flumioxazin + pyroxasulfone) foi avaliado na aplicação sobre o solo, e sobre a palha. Em todos os experimentos utilizou-se como espécie bioindicadora o capim-colonião, e o delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 6x6, em que seis foram os períodos de permanência na palha, ou no solo (0, 15, 30, 45, 75 e 90 dias), e seis foram as doses herbicidas (0D; 1/4D; 1/2D; 1D; 2D e 4D), sendo D a dose de ingrediente ativo de cada produto recomendado em bula ou proposta para registro do produto, com quatro repetições. Foram realizadas avaliações percentuais de controle, e massa seca, aos 35 dias após a aplicação. Os dados foram ajustados ao modelo de curva dose-resposta e, quando não ajustados, foram submetidos ao teste Tukey. Diante das aplicações de flumioxazin e pyroxasulfone, tanto isolados quanto em mistura formulada, diretamente sobre o solo, a eficácia de controle foi satisfatória, principalmente na dose comercial, independente do período de permanência no solo sem a precipitação. Já quando as aplicações ocorreram sobre a palhada, o período de permanência influenciou na eficácia dos produtos, necessitando nestes casos do incremento de doses para aumentar a quantidade de produto capaz de chegar ao solo.

Palavras-chave: Regime hídrico, *Panicum maximum*, Dinâmica, Pré-emergência

INFLUENCE OF THE DROUGHT PERIOD ON THE EFFECTIVENESS OF FLUMIOXAZIN AND PYROXASULFONE CONTROL IN SUGARCANE ENVIRONMENT.

Abstract

The success of pre-emergence herbicide applications in sugarcane depends on some factors such as the physical-chemical herbicide characteristics, as well as the interactions with environmental factors, such as the soil attributes, and the presence of straw from green cane harvest in the area. In addition, the time that the herbicide will remain on the soil, or on the straw, after application, without the occurrence of rain, can also influence the effectiveness of the application, since the molecules can be degraded, volatilized, or adsorbed on surfaces. Thus, this study aimed to evaluate the effects of different periods of permanence of the herbicides flumioxazin and pyroxasulfone on the soil and on the sugarcane straw, before the first simulated rain, isolated and in a commercial mixture. Six independent experiments were carried out under greenhouse conditions, where each herbicide (flumioxazin; pyroxasulfone;

flumioxazin + pyroxasulfone) was evaluated, when applied to soil and straw. In all experiments guineagrass was used as a bioindicator species, and the experimental design adopted was the randomized blocks in a 6x6 factorial scheme, in which six were the periods of permanence on the straw or on the soil (0, 15, 30, 45, 75 and 90 days), and six were herbicide doses (0D; 1 / 4D; 1 / 2D; 1D; 2D and 4D), where D is the dose of active ingredient of each product at the recommended rate or proposed to be registered as recommended rate. Percentage evaluations of control and residual dry mass were performed at 35 days after application. The data were adjusted to dose-response model and, when not adjusted, were submitted to the Tukey test. In view of the applications of flumioxazin and pyroxasulfone, both isolated and in a formulated mixture, directly on the soil, the control effectiveness was satisfactory, mainly in the commercial dose, regardless of the period of permanence in the soil without precipitation. When applications occur on a pallet, or the period of permanence influenced by the use of products, it is necessary to apply cases of dose increase to increase the amount of product capable of reaching the ground.

Keywords: Water regime, *Panicum maximum*, Dynamics, Pre-emergence

4.1. Introdução

O manejo químico de plantas daninhas, através de aplicações em condições de pré-emergência, é o método mais utilizado em áreas de cana-de-açúcar (MONQUERO et al., 2012). No entanto, para eficácia da aplicação no sistema de produção de cana crua, é importante atentar-se à interação destes herbicidas com o solo, a palhada, cuja quantidade pode variar de 5 a 20 t ha⁻¹ (GUERRA et al., 2015) e, principalmente, com o período em que a área permanecerá sem ocorrência de chuva após a aplicação (ROSSI et al., 2013; ORZARI, 2015).

Isto porque, quando uma molécula é aplicada sobre o solo ou sobre a palhada, pode sofrer processos de degradação e sorção, onde a interação desses fatores com as condições ambientais podem resultar na diminuição da disponibilidade das moléculas para absorção pelas plantas, bem como a relação da sua persistência no ambiente (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2005; ROSSI et al., 2013).

No entanto, a eficácia das aplicações realizadas na palhada também dependerá da precipitação pluvial ou irrigação após a aplicação, principalmente os primeiros 20 mm, pois a água será o principal transporte da molécula até o solo (MACIEL; VELINI, 2005; CAVENAGHI et al., 2007), além disso, quando a área permanece por longos períodos sem precipitação, a molécula pode sofrer degradações microbianas, volatilização, fotodegradação ou, ainda, ficar fortemente adsorvida na palhada, a ponto de não mais ser remobilizada no momento em que ocorrer a primeira precipitação (NEGRISOLI et al., 2005; CAVENAGHI et al., 2007; TOLEDO et al., 2009; ROSSI et al., 2013; SILVA, 2018).

Para diversos herbicidas verifica-se que a permanência sobre a palhada por longos períodos sem chuvas, implica em reduções nas quantidades do herbicida carregado ao solo e, conseqüentemente, na eficácia do herbicida no controle das plantas daninhas (GODOY et al., 2007; CAVENAGHI et al., 2007; TOFOLI, 2009; CARBONARI; GOMES; VELINI, 2010).

O herbicida pyroxasulfone é um produto em fases finais de desenvolvimento para utilização na cultura de cana-de-açúcar, isolado e/ou em associação com flumioxazin, para aplicações em condições de pré-emergência, devido a isto, é fundamental conhecer como as características físico-químicas de cada produto responderá, na prática, as adversidades ambientais, como um período de seca após aplicação.

O flumioxazin é uma molécula de baixa solubilidade em água ($1,79 \text{ mg L}^{-1}$), baixa pressão de vapor ($2,41 \times 10^{-6} \text{ mm Hg}$), com muita afinidade pela partição lipofílica ($\log K_{ow} = 2,55$) e forte adsorção à matéria orgânica do solo ($K_{oc} = 889$) (FERRELL et al., 2005; RODRIGUES; ALMEIDA, 2018). Enquanto o pyroxasulfone é uma molécula de baixa solubilidade em água ($3,49 \text{ mg L}^{-1}$), com muita afinidade pela partição lipofílica ($\log K_{ow} = 2,39$) e moderada adsorção à matéria orgânica do solo ($K_{oc} = 223$) (WESTRA et al., 2015; MANGIN et al., 2017). Estas características sugerem que as moléculas tenham potencial para adsorverem-se à palhada após a exposição a longos períodos de permanência sem chuvas após a aplicação.

Diante disto, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de diferentes períodos de permanência dos herbicidas flumioxazin e pyroxasulfone no solo e na palhada de cana-de-açúcar, antes da ocorrência da primeira chuva simulada, isolados e em mistura comercial.

4.2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado em casa-de-vegetação do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, em Piracicaba - SP (Latitude: $22^{\circ} 42' 32''$ S, Longitude: $47^{\circ} 37' 43''$ O e 550 m de altitude), durante o ano de 2019.

Foram instalados seis experimentos independentes, seguindo o modelo de delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições, em que cada parcela constou de um vaso com capacidade para 2,0 L. Os experimentos constaram na aplicação de flumioxazin, pyroxasulfone e flumioxazin + pyroxasulfone (mistura formulada) na condição com e sem palhada de cana-de-açúcar.

Em todos os experimentos, os tratamentos constaram de esquema fatorial 6 x 6, em que seis foram os períodos de aplicação antes da ocorrência da simulação de chuva (0, 15, 30, 45, 75 e 90 dias), e seis foram as doses herbicidas (0D; 1/4D; 1/2D; 1D; 2D e 4D), em que D é a dose recomendada ou proposta para registro de cada produto, resultando em 36 tratamentos e 144 parcelas em cada experimento. As doses (D) e os produtos utilizados foram 300 mL ha⁻¹ de Flumyazin 500 SC[®] (flumioxazin 500 g L⁻¹), 500 mL ha⁻¹ de Yamato[®] (pyroxasulfone 500 g L⁻¹) e 1000 mL ha⁻¹ de Falcon[®] (flumioxazin 200 g L⁻¹ + pyroxasulfone 200 g L⁻¹).

Inicialmente, os vasos foram preenchidos com Latossolo Vermelho Distrófico oriundo de camada arável, previamente peneirado. Esse solo foi coletado de área sem histórico de utilização de herbicidas, e foi caracterizado no laboratório de solos da ESALQ/USP em relação às suas características químicas e físicas: pH (CaCl₂) 5,3; M.O. 18 g dm⁻³; SB 41,8 mmol_c dm⁻³; CTC 66,8 mmol_c dm⁻³; 54% de areia; 41% de argila e 5% de silte.

As sementes de capim-colonião foram adquiridas na empresa Agro Cosmos (Cosmos Agrícolas Produção e Serviços Rurais Ltda.), situada no município de Engenheiro Coelho/SP. Sendo semeadas 0,3 g de sementes por vaso. Logo após a semeadura dos vasos, três experimentos de cada herbicida foram cobertos com palhada de cana-de-açúcar, coletada de canavial comercial, pertencente à usina Iracema, em área plantada com a variedade RB966928, e retirada da área logo após a colheita, visando a não contaminação da palhada com aplicações de herbicidas. Ela foi seca ao ar, picada de forma manual com auxílio de tesouras, e armazenada em local seco até a instalação do experimento.

A quantidade de palhada sobre o solo, utilizada para cada vaso, foi calculada para representar 10 toneladas de massa seca por hectare. Essa quantidade foi selecionada em função das informações disponíveis na literatura, indicando ser uma média da variação de palhada que a colheita pode deixar sobre a área (GUERRA et al., 2015).

Em seguida, as pulverizações foram realizadas em total pré-emergência do capim-colonião. Para tanto, foi utilizado pulverizador costal de precisão, pressurizado por CO₂, acoplado a ponta do tipo TeeJet XR 110.02, posicionada a 0,50 m dos alvos, com consumo relativo de calda de 200 L ha⁻¹.

Posteriormente, os tratamentos referentes a 0 dias entre a aplicação e a ocorrência de chuva simulada, receberam a simulação de 20 mm de água, enquanto os demais foram armazenados na casa-de-vegetação, ao abrigo da irrigação até o período de simulação das chuvas para cada tratamento.

Para realizar a simulação da lâmina de chuva de 20 mm, os vasos dos tratamentos permaneceram com irrigação constante por aspersão durante 1 hora e 40 min. Concluído o tempo de irrigação, os vasos foram transferidos para outra parte da casa-de-vegetação e retirados da irrigação. Após 48 horas da realização da simulação da lâmina de chuva, a palhada de cana-de-açúcar foi retirada dos vasos, a fim de não prejudicar a emergência da planta daninha pela barreira física. Posteriormente, os vasos foram mantidos com irrigação de cerca de 4 mm dia⁻¹. O mesmo procedimento foi realizado para os demais tratamentos.

Em seguida, avaliou-se o controle percentual do capim-colonião aos 35 dias após a simulação de chuva (DAC), bem como a massa seca residual aos 35 DAC. Para as avaliações de controle percentual, foi atribuída uma nota visual de controle variando de 0% no caso da ausência de sintomas causados pelos herbicidas e 100% para a morte das plantas, segundo o método proposto pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD, 1995).

A massa seca residual se obteve a partir da colheita do material vegetal remanescente nas parcelas, com posterior secagem em estufa a 70°C por 72 horas. A porcentagem de redução de massa seca residual (Rm) em relação à testemunha foi calculada seguindo a equação:

$$Rm = 100 - \frac{(\text{Massa seca residual da planta tratada} \times 100)}{\text{Massa seca residual da testemunha}}$$

Em que a massa seca residual da testemunha foi a média dos valores obtidos na ausência da aplicação do herbicida.

Os dados obtidos nos experimentos foram submetidos à aplicação do teste F na análise da variância a 1% de significância. Sendo significativo o teste F, os dados foram ajustados ao modelo de regressão não-linear do tipo log-logístico proposto por Knezevic et al. (2007) para construção de curvas dose-resposta, representado na seguinte equação:

$$y = \left[\frac{d}{1 + \exp[b(\log x - \log e)]} \right]$$

Em que y é a porcentagem de controle ou porcentagem de redução de massa, x é a dose do herbicida (g e.a. ha⁻¹); e b , d e e são parâmetros da curva, de modo que b é a declividade da curva, d é o limite superior da curva, e e é a dose que proporciona 50% de

resposta da variável. Quando não ajustado ao modelo, os dados foram submetidos apenas ao teste Tukey a 1% de significância.

4.3. Resultados e Discussão

Flumioxazin

A análise da variância evidenciou diferença significativa entre os tratamentos tanto nas análises de controle percentual como porcentagem de redução de massa seca residual para ambos os experimentos ($F > 1$), com e sem palhada, de modo que os dados foram ajustados ao modelo de regressão não-linear proposto por Knezevic et al., (2007) e a partir dos parâmetros foram calculadas as doses de flumioxazin necessárias para proporcionar eficácia de 80% de capim-colonião. Os parâmetros “b”, “d”, “e” e a estimativa de DL_{80} e GR_{80} para cada experimento estão representados na Tabela 4.3.1 e 4.3.2.

Foi observado que em ambos os experimentos o flumioxazin superou o período de seca, não sendo degradado, ou ficando fortemente e adsorvido em níveis prejudiciais ao controle, além de ter grande capacidade de transpor a palha, sendo necessário uma DL_{80} ou GR_{80} para o capim-colonião sempre abaixo da dose recomendada (300 mL ha^{-1}). Tais resultados evidenciam a eficácia do herbicida, mesmo com características físico-químicas de baixa solubilidade, alto Kow e moderado Koc (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018) (Tabela 4.3.1 e Tabela 4.3.2.).

Isto reforça que a quantidade de herbicida que lixivia da palhada para a superfície do solo não depende somente das características físico-químicas da molécula, mas da interação de fatores como, formulação, quantidade e origem do resíduo vegetal sobre o solo, e das condições ambientais, como quantidade e intensidade de chuvas (MATOS, 2018).

Tabela 4.3.1. Parâmetros e DL₈₀ estimados para as curvas de dose-resposta de flumioxazin para porcentagem de controle e redução de massa percentual, na ausência de palhada de cana-de-açúcar aos 35 DAC. Piracicaba - SP, 2019.

Estimativa de parâmetros para a variável percentual de controle ¹				
Período de seca (dias)	b ± SE ²	d ± SE ²	e ± SE ²	DL ₈₀ ³
0	-1,958 (0,335)	101,497 (2,016)	61,037 (4,275)	123,8
15	-2,203 (0,314)	100,035 (1,883)	70,613 (3,614)	132,4
30	-4,260 (0,401)	97,316(1,585)	106,298 (3,396)	147,1
45	-4,417 (0,425)	96,497 (1,582)	108,831 (3,456)	148,9
75	-4,820 (0,475)	94,102 (1,550)	103,412 (3,442)	137,8
90	-5,291 (0,650)	90,163 (1,531)	96,477 (3,513)	125,3

Estimativa de parâmetros para a variável porcentagem de redução de massa ¹				
Período de seca (dias)	b ± SE ²	d ± SE ²	e ± SE ²	GR ₈₀ ⁴
0	-2,014 (0,229)	101,955 (1,732)	73,763 (3,319)	146,8
15	-2,297 (0,224)	101,707 (1,619)	83,783 (3,115)	153,1
30	-4,133 (0,345)	97,119 (1,385)	111,555 (3,035)	156,0
45	-3,472 (0,301)	97,864 (1,473)	113,817 (3,280)	169,6
75	-4,762 (0,424)	91,789 (1,350)	109,213 (3,123)	146,1
90	-5,683 (0,510)	92,541 (1,312)	110,979 (3,275)	141,6

¹Estimativa de modelo proposto por Knezevic; ²Desvio padrão; ³Dose letal para controle de 80% (DL); ⁴ Dose para 80% de redução de crescimento (GR); “b” representa a declividade da curva, “d” o limite superior da curva e “e” a dose que proporciona 50% de resposta da variável.

Tabela 4.3.2. Parâmetros e DL₈₀ estimados para as curvas de dose-resposta de flumioxazin para porcentagem de controle e redução de massa percentual, sobre a palhada de cana-de-açúcar (10 t ha⁻¹) aos 35 DAC. Piracicaba - SP, 2019.

Estimativa de parâmetros para a variável percentual de controle ¹				
Período de seca (dias)	b ± SE ²	d ± SE ²	e ± SE ²	DL ₈₀ ³
0	-2,756 (0,340)	99,782 (1,794)	82,075 (3,036)	135,7
15	-3,238 (0,443)	97,701 (1,637)	81,232 (2,685)	124,6
30	-3,531 (0,415)	98,634 (1,588)	86,170 (2,724)	127,5
45	-5,176 (0,984)	90,862 (1,502)	84,973 (2,775)	111,0
75	-5,907 (1,190)	90,014 (1,491)	88,175 (3,419)	111,5
90	-6,721 (1,875)	83,422 (1,495)	89,023 (4,660)	109,4

Estimativa de parâmetros para a variável porcentagem de redução de massa ¹				
Período de seca (dias)	b ± SE ²	d ± SE ²	e ± SE ²	GR ₈₀ ⁴
0	-2,159 (0,189)	101,639 (1,277)	75,097 (2,406)	142,7
15	-3,890 (0,322)	100,246 (1,044)	85,622 (1,704)	122,2
30	-2,814 (0,263)	100,663 (1,130)	75,454 (1,884)	123,4
45	-3,888 (0,484)	100,149 (1,042)	75,061 (1,375)	107,2
75	-2,501 (0,220)	92,902 (1,237)	85,512 (2,462)	148,8
90	-4,719 (0,376)	77,207 (2,406)	99,284 (2,673)	133,1

¹Estimativa de modelo proposto por Knezevic et al. (2007); ²Desvio padrão; ³Dose letal para controle de 80% (DL); ⁴ Dose para 80% de redução de crescimento (GR); “b” representa a declividade da curva, “d” o limite superior da curva e “e” a dose que proporciona 50% de resposta da variável.

As curvas dose-resposta para o percentual de controle e percentual de redução de massa para a aplicação de flumioxazin na ausência de palhada foram semelhantes entre si (Figura 4.3.1 e 4.3.2). É possível observar a interação negativa da dose de 75 mL ha⁻¹ com o aumento do período de permanência no solo, onde em 0 e 15 dias de seca foi possível alcançar um controle superior a 50%, enquanto para os períodos de 30, 45, 75 e 90 dias este controle só foi possível com doses superiores a 150 mL ha⁻¹.

É notório que após doses superiores a 150 mL ha⁻¹ (75 mL i.a. ha⁻¹), tanto o percentual de controle quanto de redução de massa seca tenderam a estabilização, não havendo influência do incremento da dose para elevação dos percentuais (Figura 4.3.1 e 4.3.2), sendo esta a dose inicial para garantir que o herbicida supere os períodos de seca e promova o controle eficaz de capim-colonião.

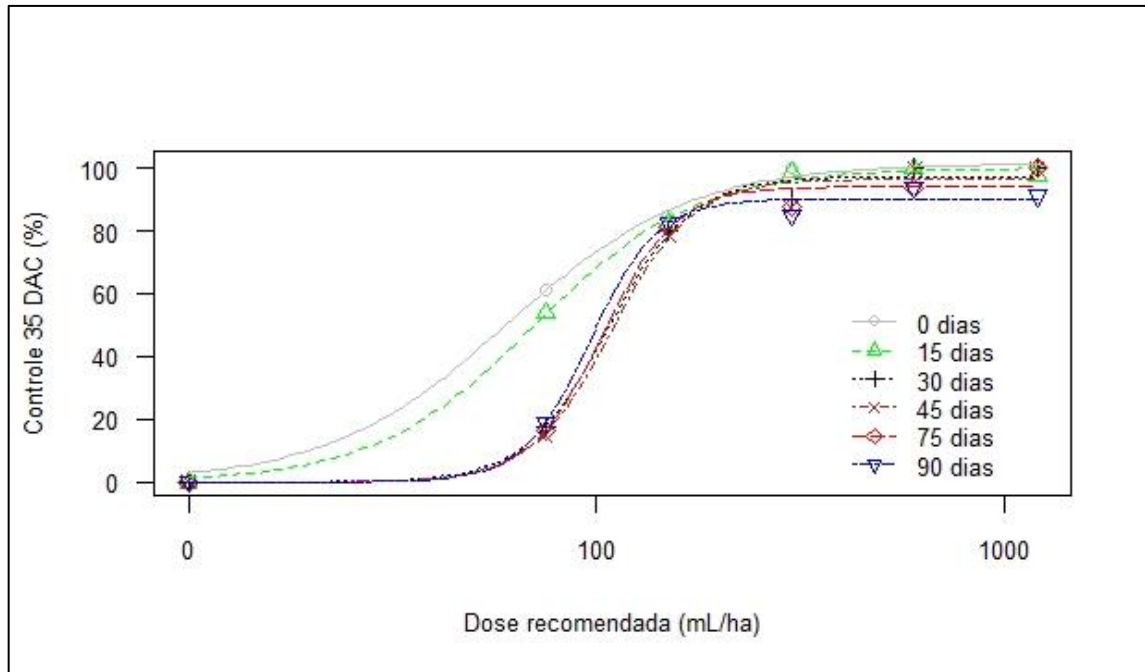


Figura 4.3.1. Controle percentual de capim-colonião, avaliado 35 DAC, pela aplicação do herbicida flumioxazin, após períodos de seca na ausência de palhada de cana-de-açúcar. Piracicaba, 2019.

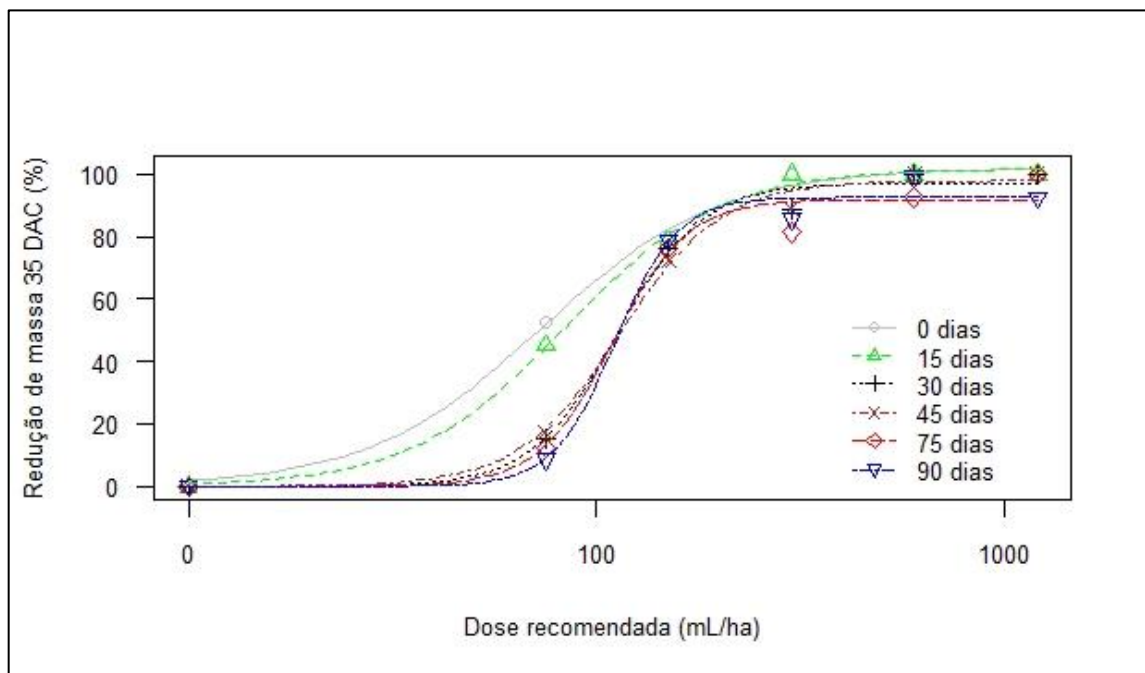


Figura 4.3.2. Redução de massa percentual de capim-colonião, avaliado 35 DAC, pela aplicação do herbicida flumioxazin, após períodos de seca na ausência de palhada de cana-de-açúcar. Piracicaba, 2019.

Já as curvas dose-resposta para percentual de controle e percentual de redução de massa para a aplicação de flumioxazin na presença de 10 t ha^{-1} de palhada de cana-de-açúcar (Figura 4.3.3 e 4.3.4), evidenciam uma influência negativa da interação entre dose e período

de permanência sobre a palhada. E, assim como na aplicação sobre o solo, doses superiores a 150 mL ha^{-1} ($75 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) tendem a estabilização.

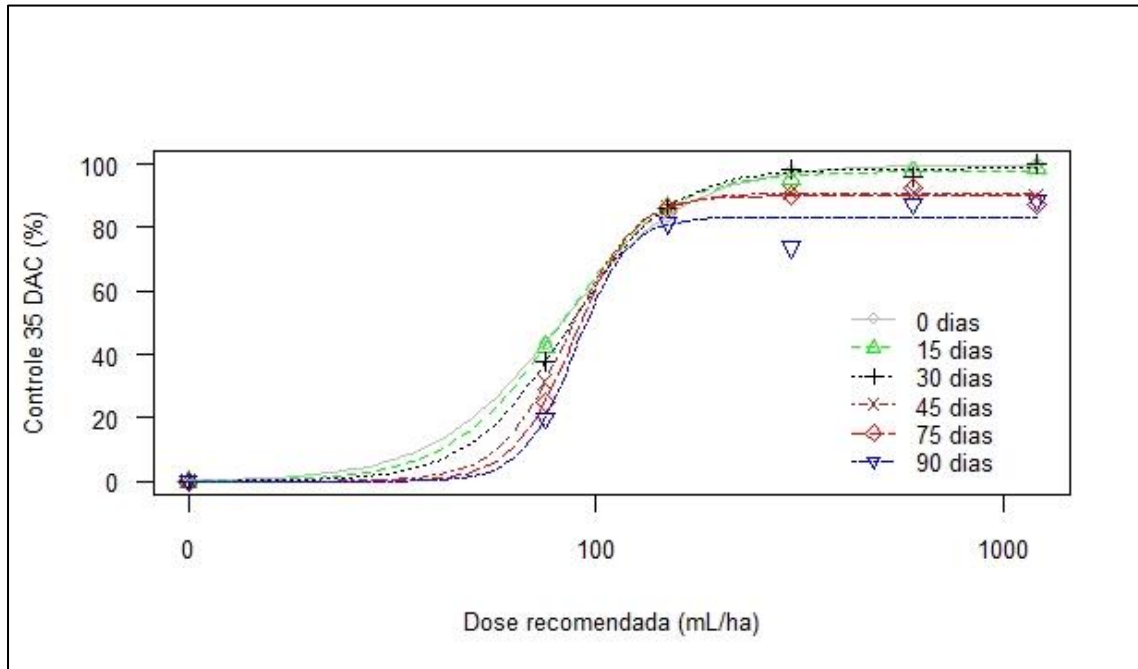


Figura 4.3.3. Controle percentual de capim-colonião, avaliados 35 DAC, pela aplicação do herbicida flumioxazin, após períodos de seca sobre a palhada de cana-de-açúcar (10 t ha^{-1}). Piracicaba, 2019.

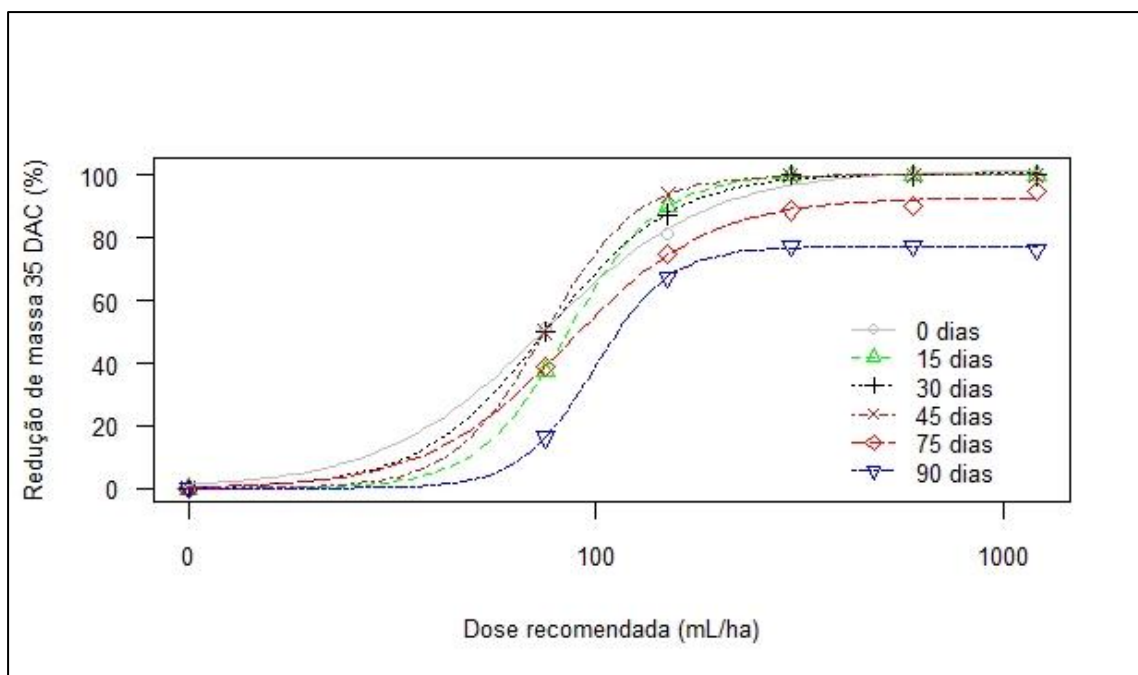


Figura 4.3.4. Redução de massa percentual de capim-colonião, avaliados 35 DAC, pela aplicação do herbicida flumioxazin, após períodos de seca sobre a palhada de cana-de-açúcar (10 t ha^{-1}). Piracicaba, 2019.

De maneira geral, herbicidas que possuem menor retenção na palhada, normalmente, são aqueles que apresentam maior solubilidade em água e menor Kow (CHRISTOFFOLETI et al., 2009). No caso do herbicida flumioxazin, mesmo com características de baixa solubilidade, a simulação de 20 mm de chuva simulada após a aplicação é capaz de transpor o herbicida da palhada para a superfície do solo.

A partir de 75 dias de permanência na palhada sem a ocorrência de chuva simulada, os níveis de eficácia do herbicida sofreram decréscimos de forma que nem mesmo a maior dose estudada foi capaz de igualar os níveis aos demais tratamentos.

Na palhada, a sorção dos herbicidas pode reduzir a restringir a liberação do produto para o solo no momento da precipitação, isto porque ocorre um processo de aprisionamento da molécula nas estruturas da parede dos resíduos vegetais, como lignina e celulose (TONIÊTO; REGITANO, 2016; MATOS, 2018).

Além disso, existem evidências de que quando um herbicida permanece na palhada durante longos períodos de seca ocorre intensificação na degradação da molécula pela fotólise, mesmo para as mais fotoestáveis, isto devido à baixa atividade microbiana na palhada seca e a maior exposição à luz, além da volatilização devido a altas temperaturas (CARBONARI et al., 2009; TONIETO; REGITANO, 2014), o que pode explicar as quedas na eficácia de controle.

Resultados semelhantes foram obtidos por Carbonari et al. (2010), onde estudando a influência do período de seca na eficácia de controle do flumioxazin (150 g i.a. ha⁻¹) em *Brachiaria decumbens* e *Digitaria horizontalis*, observaram que não houve queda no controle das espécies quando o herbicida foi aplicado sobre o solo, mantendo-se em 100% aos 42 dias após a simulação de 20 mm chuva. Já quando a aplicação foi realizada sobre a palhada, houve uma queda no controle, obtendo 88,8% para *B. decumbens* e 96,3% para *D. horizontalis* após 60 dias sem ocorrência de chuva simulada.

Ainda é importante ressaltar que mesmo considerando uma eficácia de 80% satisfatória por algumas literaturas (FRANS et al., 1986), é necessário relacionar a competitividade da planta daninha estudada, na qual estes 20% de sobrevivência podem ser suficientes para o início de uma infestação problemática na área. Estima-se que uma única planta de capim-colonião, durante um ciclo vegetativo, é capaz de produzir 127.350 sementes (BOZÁN; REY, 1977).

Além disso, um estudo sobre o período de interferência do capim-colonião com a cana-de-açúcar evidenciou uma correlação negativa entre o acúmulo de massa seca da planta daninha com a produção estimada de colmos da cultura, onde 1,27 g de massa seca m⁻² da

população de capim-colonião, convivendo com a cultura durante 147 dias desde o início do ciclo, resultou em redução de produtividade na ordem de 1 t ha⁻¹ (KUVA et al., 2003).

Pyroxasulfone

Para o herbicida pyroxasulfone, a aplicação sobre o solo não resultou em significância do fatorial estudado para o percentual de controle ($F < 1$), de modo que apenas a dose teve influência sobre os dados obtidos ($F > 1$), devido a isto, não foi possível ajustar os dados ao modelo de regressão não-linear proposto por Knezevic et al. (2007), já o percentual de redução de massa evidenciou interação significativa dos fatores ($F > 1$), mas, sem ajuste ao modelo. Assim, os dados foram submetidos ao teste Tukey a 1% de significância e estão apresentados nas Tabelas 4.3.3 e 4.3.4.

Tabela 4.3.3. Controle percentual¹ de capim-colonião, avaliado 35 DAC, após aplicação do herbicida pyroxasulfone na ausência de palhada de cana-de-açúcar. Piracicaba - SP, 2019.

	Pyroxasulfone (mL ha ⁻¹)					
	0	125	250	500	1000	2000
Médias	0,00 B	99,20 A	99,87 A	100,00 A	100,00 A	100,00 A
	CV = 1,21	DMS _{1%} = 1,005	F _{int} = 0,679 ^{NS}	F _{dose} = 39345,707**	F _{seca} = 0,669 ^{NS}	

¹Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si segundo teste de Tukey, com 1% de significância;
**Teste F significativo a 1% de probabilidade; ^{NS}não significativo.

Tabela 4.3.4. Redução de massa percentual¹ de capim-colonião, avaliado 35 DAC, após aplicação do herbicida pyroxasulfone na ausência de palhada de cana-de-açúcar. Piracicaba - SP, 2019.

Período de seca (dias)	Pyroxasulfone (mL ha ⁻¹)					
	0	125	250	500	1000	2000
0	0,0 A c	97,5 B b	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a
15	0,0 A c	98,5 B b	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a
30	0,0 A c	99,7 A b	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a
45	0,0 A b	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a
75	0,0 A b	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a
90	0,0 A b	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a	100,0 A a
CV = 0,57 DMS _{5%} = 1,16 F _{int} = 3,238** F _{dose} = 174462,466** F _{seca} = 3,238**						

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

Foram obtidos excelentes controles na aplicação de pyroxasulfone desde a menor dose estudada, demonstrando a eficácia do produto mesmo em pequenas doses. Diante disto, o período de seca não foi considerado prejudicial ao produto aplicado sobre o solo, embora estudos indiquem que condições de seca reduzem a eficácia do pyroxasulfone devido à exposição à luz (WESTRA et al., 2014; TAZIAR, 2016).

Trata-se de uma molécula de moderada adsorção à matéria orgânica do solo (Koc = 223), além de uma meia-vida entre 47 a 134 dias (WESTRA et al., 2014; MANGIN et al., 2017), com isto, na ocorrência na primeira precipitação, a umidade foi capaz de dessorver a quantidade do produto presente no solo e disponibilizá-lo na solução para o controle da planta daninha.

Quanto à aplicação de pyroxasulfone sobre a palhada de cana-de-açúcar, o teste F evidenciou significância dos fatores ($F > 1$) e foi possível ajustar os dados ao modelo de regressão não-linear. Os parâmetros “b”, “d”, “e” e a estimativa de DL₈₀ e GR₈₀ para cada variável resposta, 35 dias após a simulação de chuva (35 DAC), estão representados na Tabela 4.3.5.

Tabela 4.3.5. Parâmetros e DL₈₀ estimados para as curvas de dose-resposta de pyroxasulfone para porcentagem de controle e redução de massa percentual, sobre a palhada de cana-de-açúcar (10 t ha⁻¹) aos 35 DAC. Piracicaba - SP, 2019.

Estimativa de parâmetros para a variável percentual de controle ¹				
Período de seca (dias)	b ± SE ²	d ± SE ²	e ± SE ²	DL ₈₀ ³
0	-3,286 (0,801)	99,815 (1,366)	101,620 (5,934)	154,9
15	-2,075 (0,347)	100,391 (1,729)	100,618 (6,057)	196,2
30	-2,385 (0,350)	100,028 (1,581)	112,370 (4,847)	200,9
45	-1,246 (0,313)	99,815 (1,366)	116,226 (4,984)	215,4
75	-3,054 (0,506)	95,626 (1,504)	124,869 (3,814)	196,5
90	-4,083 (0,776)	93,599 (1,344)	127,268 (2,989)	178,7

Estimativa de parâmetros para a variável porcentagem de redução de massa ¹				
Período de seca (dias)	b ± SE ²	d ± SE ²	e ± SE ²	GR ₈₀ ³
0	-1,923 (0,263)	101,992 (1,870)	110,559 (5,903)	227,3
15	-2,427 (0,352)	100,900 (1,594)	111,583 (4,962)	197,5
30	-1,890 (0,243)	101,770 (1,977)	121,654 (5,916)	253,2
45	-2,019 (0,219)	102,422 (1,836)	133,144 (5,731)	264,5
75	-2,030 (0,297)	99,597 (2,032)	125,683 (5,643)	248,7
90	-2,830 (0,475)	95,627 (1,606)	122,600 (4,319)	200,0

¹Estimativa de modelo proposto por Knezevic; ²Desvio padrão; ³Dose letal para controle de 80%; ⁴ Dose para redução de 80% de crescimento; “b” representa a declividade da curva, “d” o limite superior da curva e “e” a dose que proporciona 50% de resposta da variável.

É possível notar que nenhuma DL₈₀ e GR₈₀ ultrapassaram os limites da dose proposta para bula (500 mL ha⁻¹), ficando bem abaixo dela. As curvas dose-resposta de percentual de controle (F = 2,982) e percentual de redução de massa (F = 2,982) também evidenciam estas respostas aos tratamentos, onde a partir da dose proposta (D), tem-se a tendência à estabilização da curva (Figura 4.3.5 e 4.3.6). Com base nas curvas é possível notar que apenas a menor dose de pyroxasulfone não promoveu um controle ou uma redução na massa seca residual acima de 80%.

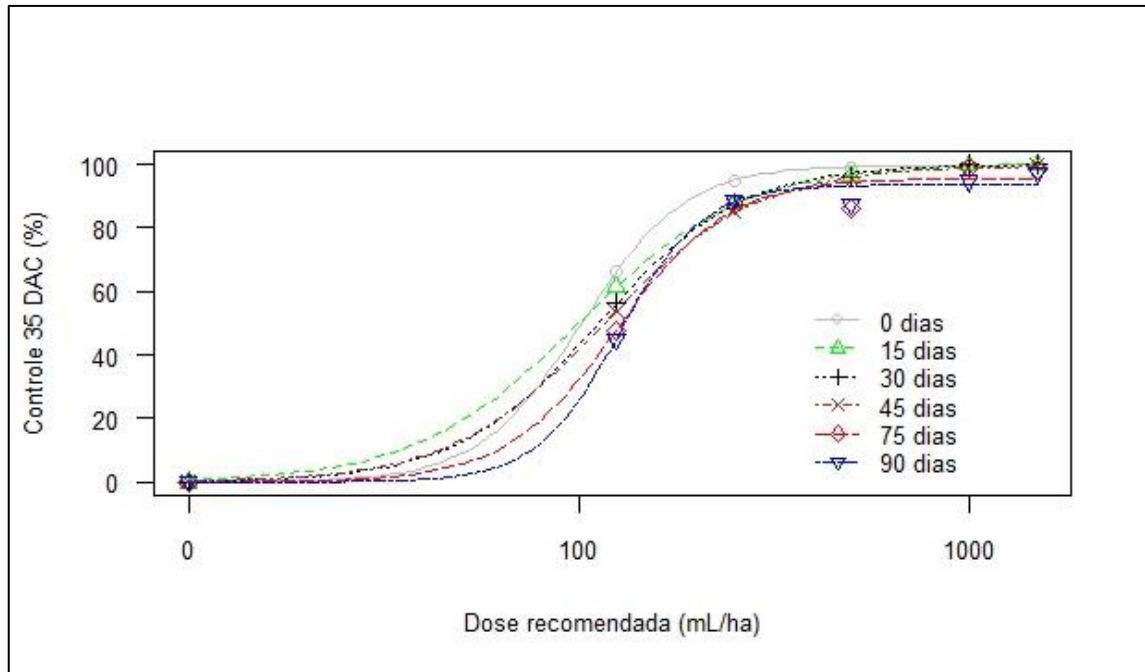


Figura 4.3.5. Controle percentual de capim-colonião, avaliado 35 DAC, pela aplicação do herbicida pyroxasulfone, após períodos de seca sobre a palhada de cana-de-açúcar (10 t ha^{-1}). Piracicaba, 2019.

Khalil et al. (2018) observaram em estudos de lixiviação de pyroxasulfone na palhada de trigo que as intensidades das chuvas não tinham efeito sobre a lixiviação do herbicida para o solo, e que a quantidade das chuvas é que comandam a lixiviação. Diante dos resultados obtidos neste trabalho, a precipitação de 20 mm após períodos de seca de até 90 dias são suficientes para transpor o herbicida da palhada para a solução do solo, e promover um controle eficaz do capim-colonião.

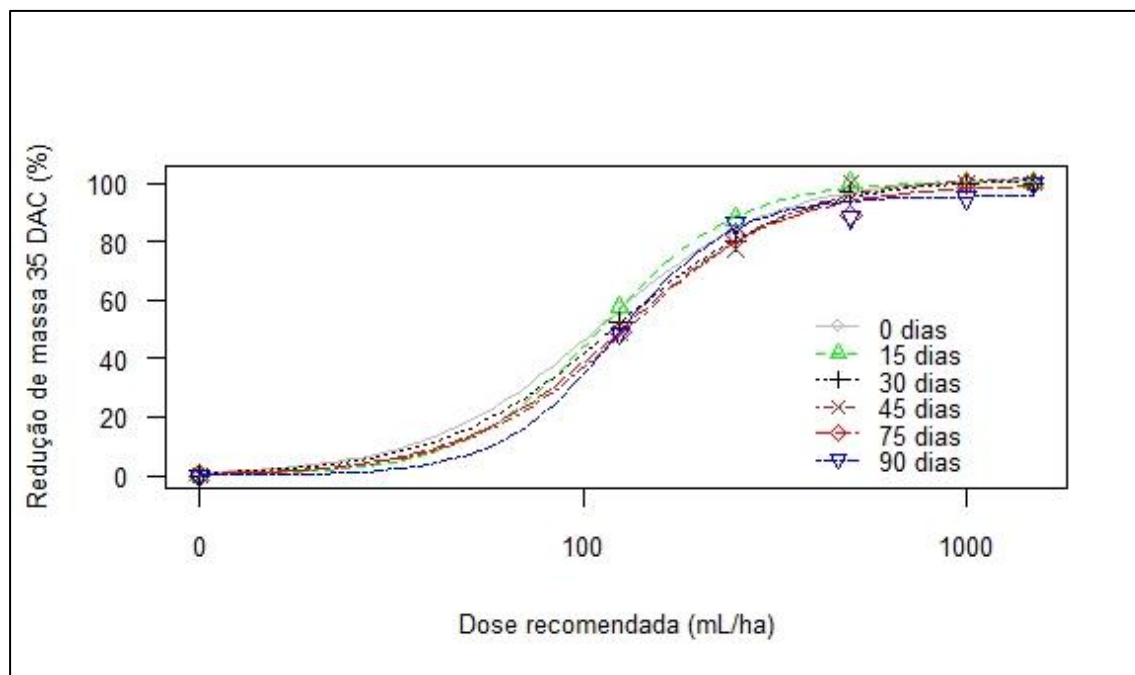


Figura 4.3.6. Redução de massa percentual de capim-colonião, avaliado 35 DAC, pela aplicação do herbicida pyroxasulfone, após períodos de seca sobre a palhada de cana-de-açúcar (10 t ha^{-1}). Piracicaba, 2019.

De maneira geral, o período de seca influenciou mais as aplicações sobre a palhada, principalmente a menor dose (125 mL ha^{-1}), do que as aplicações sobre o solo, que na menor dose já alcançou um controle de 99,2%. Khalil et al. (2018) afirmam que a presença da palhada pode interceptar grande parte do pyroxasulfone quando comparado a aplicação sobre o solo, demonstrando que a DL_{80} nestes casos pode ser até 17 vezes maior na palhada do que no solo, necessitando do aumento de doses.

No entanto, ressalta-se que a dose proposta para registro do herbicida foi eficaz em ambas as situações, e embora a eficácia caia alguns percentuais, as curvas dose-resposta possuem tendências muito semelhantes independente do período de seca.

Além disso, dentro do seu mecanismo de ação, o pyroxasulfone possui vantagens sobre as cloroacetamidas, como s-metolachlor, alachlor e acetochlor, pois, comparativamente, necessita de menor dose para um amplo espectro de gramíneas e algumas folhas largas, com menor risco ao meio ambiente (ZOLLINGER; RIES, 2007; RODRIGUES; ALMEIDA, 2018).

Flumioxazin + Pyroxasulfone

A avaliação da aplicação da mistura formulada dos herbicidas flumioxazin + pyroxasulfone, foram significativas para os fatores estudados ($F < 1$), sendo ajustada ao modelo de regressão não-linear. Os parâmetros “b”, “d”, “e” e a estimativa de DL_{80} e GR_{80} para cada variável resposta, 35 DAC, estão representados nas Tabelas 4.3.6 e 4.3.7.

Tabela 4.3.6. Parâmetros e DL_{80} estimados para as curvas de dose-resposta de flumioxazin + pyroxasulfone para porcentagem de controle e redução de massa percentual, na ausência de palhada de cana-de-açúcar aos 35 DAC. Piracicaba - SP, 2019.

Estimativa de parâmetros para a variável percentual de controle ¹				
Período de seca (dias)	b ± SE ²	d ± SE ²	e ± SE ²	DL_{80} ³
0	-3,157 (0,978)	100,091 (0,896)	157,398 (22,459)	244,1
15	-2,889 (0,701)	99,830 (0,931)	162,477 (17,218)	262,4
30	-4,293 (1,919)	100,021 (0,848)	181,073 (25,741)	250,0
45	-4,893 (1,913)	100,013 (0,838)	205,091 (15,712)	272,2
75	-4,663 (1,372)	100,020 (0,841)	211,146 (10,572)	284,2
90	-2,235 (0,896)	100,388 (1,028)	176,814 (9,971)	328,6

Estimativa de parâmetros para a variável porcentagem de redução de massa ¹				
Período de seca (dias)	b ± SE ²	d ± SE ²	e ± SE ²	GR_{90} ⁴
0	-2,899 (1,184)	100,120 (1,220)	146,867 (31,778)	236,8
15	-2,666 (0,884)	100,196 (1,255)	148,438 (25,897)	249,6
30	-4,802 (2,330)	100,032 (1,111)	204,344 (19,856)	272,7
45	-2,909 (0,654)	100,236 (1,221)	183,520 (13,944)	295,5
75	-3,704 (0,759)	100,120 (1,157)	217,341 (7,865)	315,9
90	-2,357 (0,405)	100,622 (1,325)	183,313 (12,193)	330,0

¹Estimativa de modelo proposto por Knezevic; ²Desvio padrão; ³Dose letal para controle de 80%; ⁴ Dose para redução de 80% de crescimento; “b” representa a declividade da curva, “d” o limite superior da curva e “e” a dose que proporciona 50% de resposta da variável.

As aplicações sobre a palhada foram visivelmente mais afetadas pelo período de seca do que as aplicações sobre o solo, necessitando de doses até três ou quatro vezes maiores para a mesma DL_{80} ou GR_{80} . Ressalta-se que a mistura formulada de flumioxazin + pyroxasulfone contém uma proporção de ingrediente ativo menor do que os produtos formulados isolados.

Desta forma, as aplicações sobre a palhada foram prejudiciais, principalmente, para o flumioxazin, uma vez que a dose necessária foi maior do que a recomendação para o produto isolado, sendo pronunciada com o aumento do período de permanência sem precipitação.

Segundo Farenhorst e Prokopowich (2003), é possível que os herbicidas que compõem uma mistura compitam pelos sítios de sorção, de forma que estes sítios possam ter sido prioritariamente, ocupados pelo pyroxasulfone, mantendo o flumioxazin vulnerável a fotodegradação e assim, necessitando de seu incremento de dose para suportar o período de permanência na palhada até a ocorrência da chuva simulada.

Estes resultados reforçam que a exposição do produto à radiação solar por um longo período na palhada pode favorecer a degradação do herbicida, principalmente pela fotólise (CARBONARI et al., 2010; LOCKE; BRYSON, 1997).

Tabela 4.3.7. Parâmetros e DL_{80} estimados para as curvas de dose-resposta de flumioxazin + pyroxasulfone para porcentagem de controle e redução de massa percentual, sobre a palhada de cana-de-açúcar (10 t ha^{-1}) aos 35 DAC. Piracicaba - SP, 2019.

Estimativa de parâmetros para a variável percentual de controle ¹				
Período de seca (dias)	$b \pm SE^2$	$d \pm SE^2$	$e \pm SE^2$	DL_{80}^3
0	-1,287 (0,282)	101,960 (2,427)	130,638 (19,538)	383,3
15	-1,456 (0,231)	101,785 (2,215)	187,864 (13,994)	486,5
30	-1,544 (0,236)	100,490 (2,108)	199,694 (13,295)	490,1
45	-1,374 (0,203)	99,702 (2,865)	254,459 (14,951)	697,4
75	-1,091 (0,195)	96,664 (4,765)	292,413 (28,129)	1040,7
90	-1,035 (0,154)	94,377 (4,850)	366,199 (42,550)	1396,2
Estimativa de parâmetros para a variável porcentagem de redução de massa ¹				
Período de seca (dias)	$b \pm SE^2$	$d \pm SE^2$	$e \pm SE^2$	GR_{80}^4
0	-1,244 (0,355)	102,597 (2,865)	110,100 (26,198)	335,2
15	-0,922 (0,252)	105,909 (5,098)	131,504 (22,065)	591,1
30	-1,058 (0,298)	103,671 (3,951)	121,155 (24,066)	448,7
45	-1,168 (0,256)	103,190 (3,776)	177,148 (19,348)	580,2
75	-1,541 (0,199)	101,805 (3,138)	342,947 (22,080)	843,0
90	-1,284 (0,176)	105,234 (4,775)	419,944 (41,130)	1235,2

¹Estimativa de modelo proposto por Knezevic; ²Desvio padrão; ³Dose letal para controle de 80%; ⁴ Dose para redução de 80% de crescimento; “b” representa a declividade da curva, “d” o limite superior da curva e “e” a dose que proporciona 50% de resposta da variável.

Já as respostas das aplicações na ausência da palhada ainda demonstram uma tendência muito semelhante, tanto no percentual de controle ($F = 3,294$), quanto no percentual de redução de massa ($F = 5,000$), reforçando que durante este período o herbicida estava mais protegido à radiação solar, e a possível ação dos microorganismos não foi eficaz para a

redução da quantidade do produto disponível para absorção após a primeira precipitação. Além disso, a metade da dose foi suficiente para promover um controle eficaz e para estabilizar a tendência da curva em todos os períodos de seca avaliados (Figura 4.3.7 e 4.3.8).

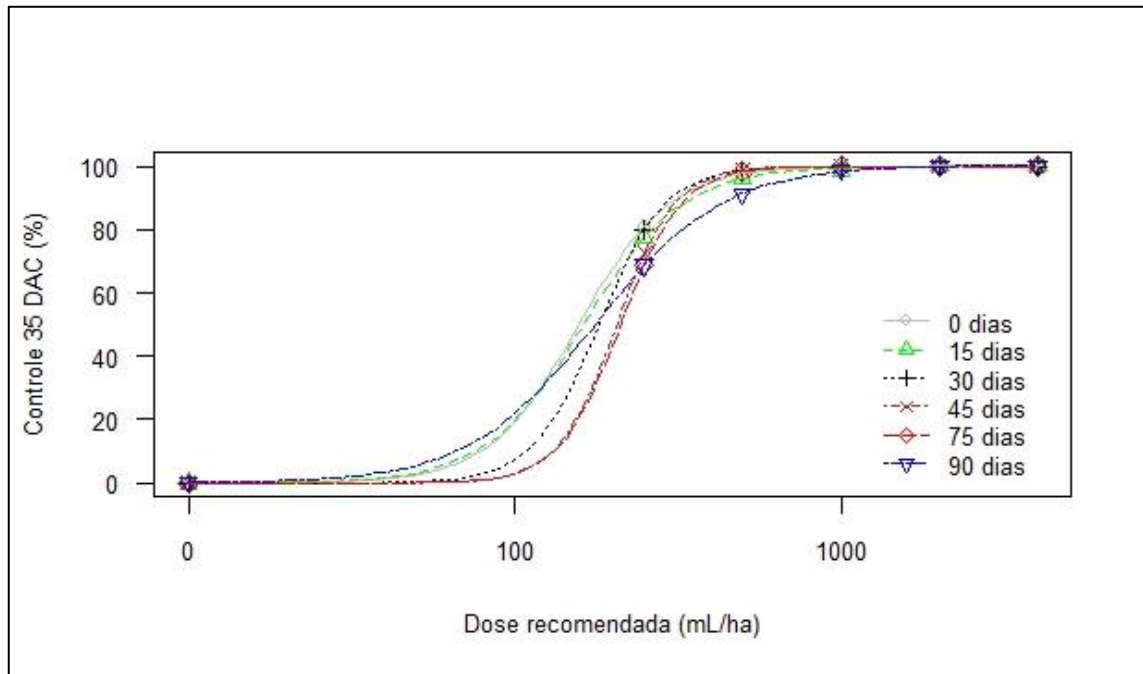


Figura 4.3.7. Controle percentual de capim-colonião, avaliado 35 DAC, pela aplicação dos herbicidas flumioxazin + pyroxasulfone, após períodos de seca na ausência de palhada de cana-de-açúcar. Piracicaba, 2019.

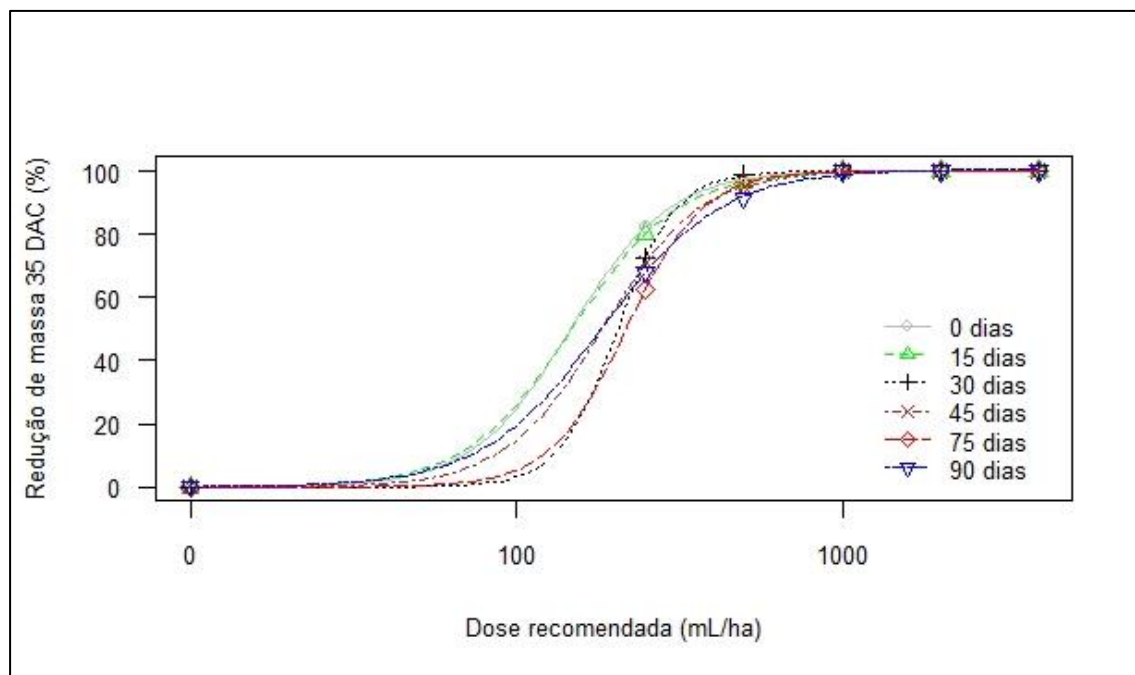


Figura 4.3.8. Redução de massa percentual de capim-colonião, avaliado 35 DAC, pela aplicação dos herbicidas flumioxazin + pyroxasulfone, após períodos de seca na ausência de palhada de cana-de-açúcar. Piracicaba, 2019.

Nas curvas para a aplicação sobre a palhada tanto o percentual de controle ($F = 4,410$) quanto o percentual de redução de massa seca residual ($F = 17,180$) demonstram a influência do período de permanência na palhada prejudica a eficácia da mistura formulada, novamente, necessitando de incremento de doses para elevar a eficácia das aplicações (Figuras 4.3.9 e 4.3.10).

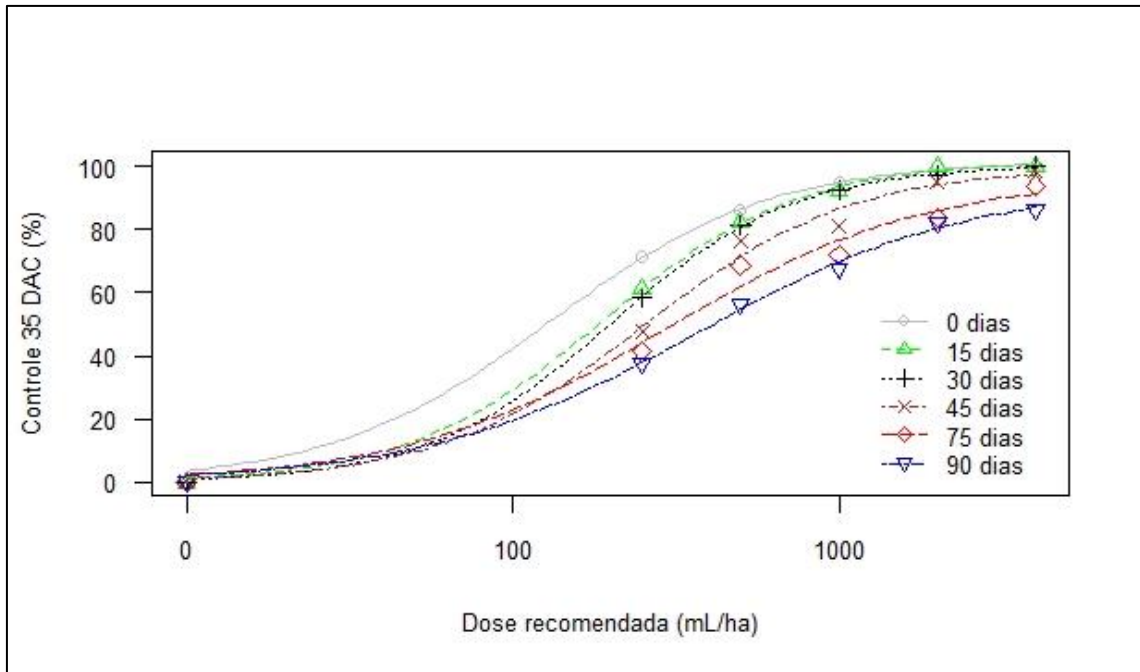


Figura 4.3.9. Controle percentual de capim-colonião, avaliado 35 DAC, pela aplicação dos herbicidas flumioxazin + pyroxasulfone, após períodos de seca sobre a palhada de cana-de-açúcar (10 t ha^{-1}). Piracicaba, 2019.

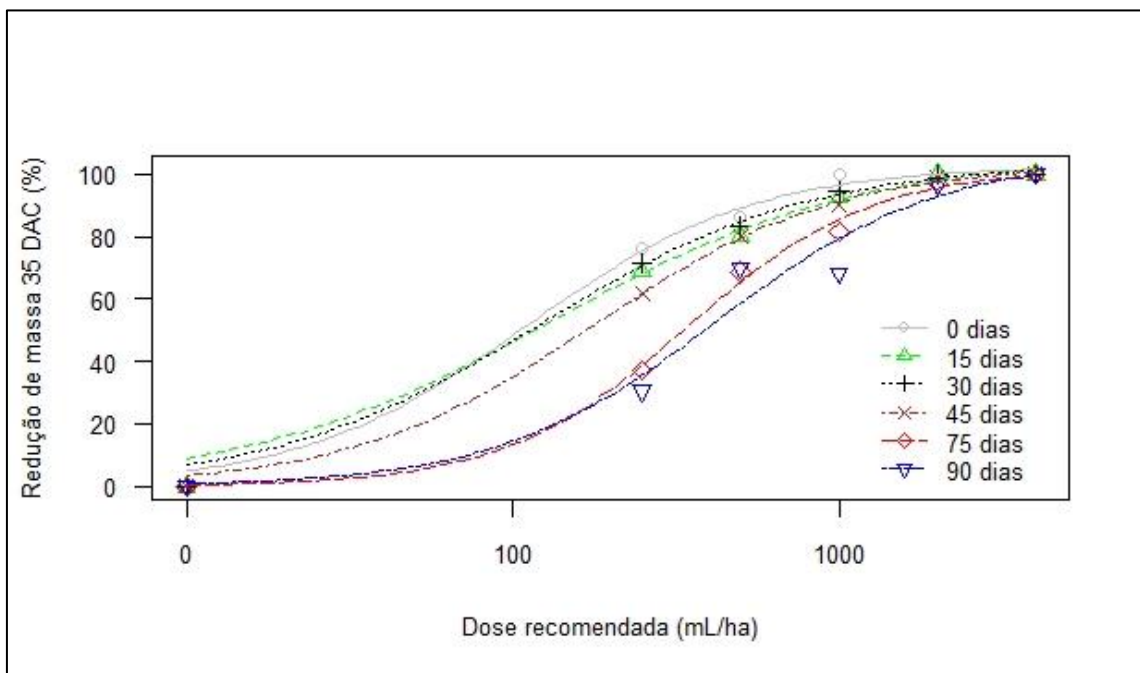


Figura 4.3.10. Redução de massa percentual de capim-colonião, avaliada 35 DAC, pela aplicação dos herbicidas flumioxazin + pyroxasulfone, após períodos de seca sobre a palhada de cana-de-açúcar (10 t ha^{-1}). Piracicaba, 2019.

Embora tenha sofrido com o período de permanência sobre a palhada, a mistura formulada trás o benefício do aumento do espectro de ação, pois o flumioxazin

está registrado para uso em condições de pré-emergência na cultura de cana-de-açúcar, no controle de plantas daninhas dicotiledôneas e de algumas monocotiledôneas, como o capim-colchão e o capim-colonião (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018), enquanto o pyroxasulfone tem ação sobre monocotiledôneas e algumas dicotiledôneas, como espécies do gênero *Amaranthus* em condições de pré-emergência (HARDEN et al., 2011).

Diante disto, se bem manejadas, a mistura formulada de flumioxazin + pyroxasulfone pode trazer benefícios ao manejo, como a ampliação do espectro de controle.

4.4. Conclusões

Diante das aplicações de flumioxazin e pyroxasulfone, tanto isolados quanto em mistura formulada, diretamente sobre o solo, a eficácia de controle foi satisfatória, principalmente na dose recomendada ou proposta para registro de cada produto, independente do período de permanência no solo sem a precipitação.

Já quando as aplicações ocorreram sobre a palhada, o período de permanência influenciou na eficácia dos produtos, necessitando nestes casos do incremento de doses para aumentar a quantidade de produto capaz de chegar ao solo.

Referências

BOZÁN, J. I. R.; REY, H. A. Métodos para el conteo de semillas de malas hierbas en el solo. **Revista Centro Agrícola**, v. 4, n. 2, p. 79-89, 1977.

CARBONARI, C.A.; GOMES, G.L.; VELINI, E.D. Efeitos de períodos sem a ocorrência de chuva na eficácia do flumioxazin aplicado no solo e na palha de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 9, n. 3, p. 81-88, 2010.

CARBONARI, C.A.; GOMES, G.L.G.C.; VELINI, E.D. Efeitos de períodos de permanência do flumioxazin no solo e na palha de milho e aveia na eficácia de controle de plantas daninhas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 8, n. 3, p. 85-95, 2009.

CAVENAGHI, A.L.; ROSSI, C.V.S.; NEGRISOLI, E.; COSTA, E.A.D.; VELINI, E.D.; TOLEDO, R.E.B. Dinâmica do herbicida amicarbazone (Dinamic) aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 831-837, 2007.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. **Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. São Paulo: Os Autores, 2005. 49 p.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; DAMIN, V.; CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M. **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba, 1ª edição, 72 p. 2009.

FARENHORST, A.; PROKOPOWICH, B. The effect of propanil co-application on 2,4-D sorption by soil. **Journal of Environmental Science and Health – Part B**, v. 8, n. 6, p. 713-721, 2003.

FERRELL, J.A.; VENCIL, W.K.; XIA, K.; GREY, T.L. Sorption and desorption of flumioxazin to soil, clay minerals and ionexchange resin. **Pest Management Science**, v. 61, n. 1, p. 40-46, 2005.

FRANS R.E.; TALBERT R.; MARX D.; CROWLEY H. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. In: Camper ND (Ed.) **Research methods in weed science**. 3.ed. Champaign, Southern Weed Science Society, 1986, p. 29-46.

GODOY, M.C.; MESCHEDE, D.K.; CARBONARI, C.A.; CORREIA, M.R.; VELINI, E.D. Efeito da cobertura morta de milho (*Pennisetum americanum*) sobre a eficácia do herbicida metribuzin no controle de *Ipomoea grandifolia* e *Sida rhombifolia*. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 79-86, 2007.

GUERRA, N.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA NETO, A.M.; PUTON, G.; GARRIDO, T.H.P. Influence of precipitation and sugarcane straw in aminocyclopyrachlor and indazifam control efficiency. **Planta Daninha**, v. 33, n. 3, p. 535-542, 2015.

HARDEN, J.; THOMAS, W.; BOND, R.C.; BOWE, S.R.; HONDA, H.; YAMAJI, Y. Residual control of *Amaranthus* and other key weeds in corn and soybean with pyroxasulfone. In: Southern Weed Science Society Meeting, 64., 2011, San Juan. **Proceedings...** San Juan: SWSS, 2011. p.49.

KHALIL, Y.; FLOWER, K.; SIDDIQUE, K.H.M.; WARD, P. Rainfall affects leaching of pre-emergent herbicide from wheat residue into the soil. **Plos one**, v. 14, n. 2, p. 1 - 14, 2018.

KNEZEVIC, S.Z.; STREIBIG, J.C.; RITZ, C. Utilizing R software package for dose-response studies: the concept and data analysis. **Weed Technology**, v. 21, n. 3, p. 840-848, 2007.

KUVA, M.A.; GRAVENA, R.A.; PITELLI, R.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; ALVES, P.L.C.A. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. III – capim braquiária (*Brachiaria decumbens*) e capim colônia (*Panicum maximum*). **Planta Daninha**, v. 21, n. 1, p. 37-44, 2003.

LOCKE, M.A.; BRYSON, C.T. Herbicide-soil interaction in reduced tillage and plant residue management systems. **Weed Science**, v.45, n.1, p.307-320, 1997.

MACIEL, C.D.G.; VELINI, E.D. Simulação do caminhamento da água da chuva e herbicidas em palhadas utilizadas em sistemas de plantio direto. **Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 471-481, 2005.

MANGIN, A.R.; HALL, L.M.; SCHOENAU, J.J.; BECKIE, H. Influence of tillage on control of wild oat (*Avena fatua*) by the soil-applied herbicide pyroxasulfone. **Weed Science**, v. 65, n. 2, p. 266-274, 2017.

MATOS, A.K.A. **Uniformidade na deposição e dinâmica de formulações de diuron e sulfentrazone em solo, palha e plantas de cana-de-açúcar**. 2018. 99 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

MONQUERO, P.A.; HIJANO, N.; ORZARI, I.; SABBAG, R.S.; HIRATA, A.C.S. Profundidade de semeadura, pH, textura e manejo da cobertura do solo na emergência de plântulas de *Rottboellia exaltata*. **Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2799-2812, 2012.

NEGRISOLI, E.; COSTA, E.A.D.; VELINI, E.D.; CAVENAGHI, A.L.; TOFOLI, G.R. Deposition and leaching of tebuthiuron on sugar cane staw applied with and without alkyl polyglycoside adjuvant. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 40, n. 1, p. 207-214, 2005.

ORZARI, I. **Efeitos de herbicidas no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar e lixiviação, absorção e translocação de diuron**. 2015. 142 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 7ª ed. Londrina, 764p. 2018.

ROSSI, C.V.S. et al. Dinâmica do herbicida metribuzin aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 223-230, 2013.

SILVA, P.V. **Comportamento ambiental e bioatividade sobre plantas daninhas de herbicidas residuais aplicados sobre a palha de cana de açúcar em diferentes condições hídricas do solo**. 144 p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP, 2018.

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

TAZIAR, A.N. **The suitability of sulfentrazone and pyroxasulfone for weed management in ontario dry beans**. 144 p. Tese (Mestrado) – University of Guelph. Guelph, Ontario, 2016.

TOFOLI, G.R. VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E.; CAVENAGHI, A.L. MARTINS, D. Dinâmica do tebuthiuron em palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 27, n. 4, p. 815-821, 2009.

TOLEDO, R.E.B.; PERIM, L.; NEGRISOLI, E.; CORRÊA, M.R.; CARBONARI, C.A.; ROSSI, C.V.S.; VELINI, E.D. Eficácia do herbicida amicarbazone aplicado sobre a palha ou no solo no controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 319-326, 2009.

TONIETO, T.A.P.; REGITANO, J.B. Efeitos do grau de decomposição da palha na eficácia de lixiviação e controle de plantas daninhas de tebuthiuron e hexazinona na colheita de cana-de-açúcar verde. **Planta Daninha**, v. 32 n. 4, p. 809-815, 2014

TONIÊTO, T.A.P.; REGITANO, J.B. Effects of straw decomposition degree on leaching and weed control efficacy of tebuthiuron and hexazinone in green sugarcane harvesting. **Planta daninha**, v. 32, n. 4, p. 808-815, 2014.

WESTRA, E.P.; SHANER, D.L.; WESTRA, P.H.; CHAPMAN, P.L. Dissipation and Leaching of Pyroxasulfone and S-Metolachlor', **Weed Technology**, v. 28, n. 1, p. 72–81, 2014.

WESTRA, E.P.; SHANER, D.L.; BARBARICK, K.A.; KHOSLA, R. Evaluation of Sorption Coefficients for Pyroxasulfone, s-Metolachlor, and Dimethenamid-p. **Air Soil and Water Research**, v. 8, n.1, p. 9-15, 2015.

ZOLLINGER, R.K.; RIES, J.L. Sunflower response to KIH-485. National Sunflower Association Research Forum, 2007. Disponível em <http://isasunflower.org/fileadmin/documents/aaProceedings/18thISAArgentina-vol1/Herbicide_Resistance/Sunflower_Tolerance_and_Weed_Control_from_Pyroxasulfone.pdf>. Acesso em: 28 de Março de 2020.

5. CONCLUSÕES FINAIS

A associação dos herbicidas na dose recomendada não ocasiona efeitos adversos sobre a eficácia de controle de capim-colonião, sendo a mistura considerada aditiva.

Quando avaliada sobre a influência do período de permanência sobre o solo ou sobre a palhada até a ocorrência da primeira precipitação, houve um efeito negativo sobre a aplicação em palhada de cana-de-açúcar, de modo que, longos períodos de permanência são prejudiciais e exigem maiores doses para elevação do nível de eficácia.

Já as aplicações sobre o solo não trouxeram efeitos adversos tanto das aplicações isoladas quando em mistura formulada, obtendo eficácia de controle em todos os casos na dose comercial, independente do período de permanência sobre o solo.