

JÚLIA RODRIGUES NOVAIS

**DINÂMICA DE PYROXASULFONE EM SOLOS COM TEXTURAS
CONTRASTANTES**

**TANGARÁ DA SERRA/ MT – BRASIL
2023**

JÚLIA RODRIGUES NOVAIS

**DINÂMICA DE PYROXASULFONE EM SOLOS COM TEXTURAS
CONTRASTANTES**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Profa. D. Sc. Miriam Hiroko Inoue.
Co-orientadora: Profa. D. Sc. Ana Carolina Dias Guimarães

**TANGARÁ DA SERRA/ MT – BRASIL
2023**

NOVAIS, Júlia Rodrigues.

N935d

Dinâmica de Pyroxasulfone em Solos com Texturas Contrastantes / Júlia Rodrigues Novais – Tangará da Serra, 2023.

63 f.; 30 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso
(Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação Stricto Sensu (Mestrado Acadêmico) Interdisciplinar em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola, Faculdade de Ciências Agrárias, Biológicas, Engenharia e da Saúde, Câmpus de Tangará da Serra, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2023.

Orientador: Miriam Hiroko Inoue

Coorientador: Ana Carolina Dias Guimarães

1. Herbicida. 2. Bioindicadores. 3. Lixiviação. 4. Residual. I. Júlia Rodrigues Novais. II. Dinâmica de Pyroxasulfone em Solos com Texturas Contrastantes: .
CDU 632.93

JÚLIA RODRIGUES NOVAIS

**DINÂMICA DE PYROXASULFONE EM SOLOS COM TEXTURAS
CONTRASTANTES**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Profa. D. Sc. Miriam Hiroko Inoue.
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT – Tangará da Serra
Orientadora

Prof. D. Sc. Kássio Ferreira Mendes (externo)
Universidade Federal de Viçosa – UFV – Viçosa

Profa. D. Sc. Dejanira Vieira de Araújo (interno)
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT – Tangará da Serra

**TANGARÁ DA SERRA/ MT – BRASIL
2023**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as bênçãos proporcionadas em minha vida e por nunca me desamparar nos momentos difíceis.

À minha família, por todo apoio, amor e compreensão. Meus familiares são meus exemplos de vida e, sem eles, nada seria possível.

À minha companheira, Mariana Leitner, por estar sempre ao meu lado, me apoiando em todas as decisões. Agradeço por todo auxílio, incentivo e companheirismo.

À orientadora, Miriam Hiroko Inoue, pelos ensinamentos, paciência e atenção na realização deste trabalho.

Aos mestrandos da disciplina de Pesticidas e Ambiente (2021/2) e aos acadêmicos de Agronomia, especialmente ao Jakson Leandro, pela dedicação e auxílio, os quais foram essenciais para a elaboração dos trabalhos.

À banca examinadora, por disponibilizar seu tempo para contribuir com o desenvolvimento do trabalho.

A todos que contribuíram para a realização do trabalho de forma direta ou indireta.

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Injúria (%) das plantas de alface, pepino e sorgo aos 14 dias após a aplicação de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin.....	20
Figura 2. Altura (%) das plantas de alface, pepino e sorgo aos 21 dias após a aplicação de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin	22
Figura 3. Comprimento de raízes (%) das plantas de alface, pepino e sorgo aos 21 DAA de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin	23
Figura 4. Biomassa fresca total (parte aérea + raiz) (%) das plantas de alface, pepino e sorgo aos 21 dias após a aplicação de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin	25
Figura 5. Injúria (%) das plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) aos 7 dias após a aplicação de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin	49
Figura 6. Injúria (%) das plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) aos 14 dias após a aplicação de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin	52
Figura 7. Altura (%) das plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) aos 21 dias após a aplicação de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin	53
Figura 8. Comprimento de raiz (%) das plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) aos 21 dias após a aplicação de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin	56
Figura 9. Biomassa seca total (%) das plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) aos 21 dias após a aplicação de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin	58

LISTA DE TABELAS

Páginas

Tabela 1. Características físico-químicas das amostras de solos	18
Tabela 2. Características físico-químicas das amostras de solos.....	33
Tabela 3. Fitointoxicação de pepino (<i>C. sativus</i>) após aplicação do pyroxasulfone + flumioxazin aos 14 DAE em solo franco-arenoso	35
Tabela 4. Fitointoxicação de pepino (<i>C. sativus</i>) após aplicação do pyroxasulfone + flumioxazin aos 21 DAE em solo franco-arenoso	37
Tabela 5. Biomassa seca (mg) de pepino (<i>C. sativus</i>) após aplicação do pyroxasulfone + flumioxazin aos 21 DAE em solo franco-arenoso	38
Tabela 6. Fitointoxicação de pepino (<i>C. sativus</i>) após aplicação do pyroxasulfone aos 14 DAE em solo franco-arenoso	38
Tabela 7. Germinação (%) de pepino (<i>C. sativus</i>) após aplicação do pyroxasulfone aos 14 DAE em solo franco-arenoso	39
Tabela 8. Altura (cm) de pepino (<i>C. sativus</i>) após aplicação do pyroxasulfone aos 21 DAE em solo franco-arenoso	40
Tabela 9. Biomassa seca (mg) de pepino (<i>C. sativus</i>) após aplicação do pyroxasulfone aos 21 DAE em solo franco-arenoso	41
Tabela 10. Características físico-químicas das amostras de solos utilizadas nos experimentos	47

SÚMARIO

	Páginas
RESUMO GERAL	8
GENERAL ABSTRACT	10
INTRODUÇÃO GERAL	11
CAPÍTULO 1: Seleção de espécies bioindicadoras para os herbicidas pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin em solos contrastantes	15
RESUMO	15
ABSTRACT	16
INTRODUÇÃO	16
MATERIAL E MÉTODOS.....	17
RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
CONCLUSÕES	26
REFERÊNCIAS.....	26
CAPÍTULO 2: Potencial de lixiviação de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin em solo submetidos à diferentes simulações de precipitação	30
RESUMO	30
ABSTRACT	30
INTRODUÇÃO	31
MATERIAL E MÉTODOS.....	32
RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS.....	41
CAPÍTULO 3: Efeito residual de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin em solos contrastantes	44
RESUMO	44
ABSTRACT	44
INTRODUÇÃO	45
MATERIAL E MÉTODOS.....	46
RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS.....	59

RESUMO GERAL

A utilização de herbicidas tem contribuído para a expansão da agricultura, os quais são utilizados para o controle de plantas daninhas cujo comportamento no ambiente pode sofrer influências mediante diversos fatores. A permanência prolongada e a lixiviação excessiva dos herbicidas podem causar prejuízos ambientais e econômicos. O pyroxasulfone isolado e em mistura com flumioxazin são moléculas de herbicidas recentemente registradas no Brasil e, por isso, faz-se necessário reunir informações sobre seu comportamento no ambiente. Nesse sentido, a utilização de plantas bioindicadoras é uma alternativa acessível e eficaz na detecção de moléculas herbicidas no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a sensibilidade de alface, pepino e sorgo aos herbicidas pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin a fim de determinar a espécie com maior potencial bioindicador em solos com diferentes texturas. Posteriormente, ao determinar a espécie bioindicadora, realizou-se um estudo sobre o comportamento do pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin no solo, por meio da análise do potencial de lixiviação, realizado em solo franco-arenoso e efeito residual, em solos de texturas contrastantes. Para a seleção de bioindicadores, quatro experimentos foram realizados com dois tipos de solos (Latosolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico). Os tratamentos consistiram em doses de pyroxasulfone (3,1; 6,2; 12,5; 25; 50 e 100 g i.a. ha⁻¹) e de pyroxasulfone + flumioxazin (3,1 + 2,07; 6,2 + 4,13; 12,5 + 8,33; 25 + 16,67; 50 + 33,33; 100 + 66,67 g i.a. ha⁻¹) aplicadas em pré-emergência e uma testemunha sem aplicação. A análise do potencial de lixiviação foi realizada por meio de um bioensaio em colunas de solo (Neossolo Quartzarênico), utilizando o pepino como bioindicadora. Foram simuladas irrigações de 0, 30, 60 e 90 mm, após a aplicação de pyroxasulfone (100 g de i.a. ha⁻¹) e pyroxasulfone + flumioxazin (100 + 66,67 g i.a. ha⁻¹). O estudo sobre o efeito residual foi realizado em dois tipos de solos (Latosolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico). Foram utilizadas duas doses de pyroxasulfone (100 e 200 g i.a. ha⁻¹) e de pyroxasulfone + flumioxazin (100 + 66,67 e 200 + 133,33 g i.a. ha⁻¹), sete épocas de aplicação (0, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias entre a aplicação dos herbicidas (DAA) e a semeadura do bioindicador), uma testemunha sem aplicação e quatro repetições. A semeadura do bioindicador pepino foi realizada ao 0 DAA. Para ambos os experimentos, as avaliações de fitointoxicação foi realizada aos 7 e 14 DAA, enquanto a altura de plantas, comprimento de raiz, biomassa verde e biomassa seca de ambos bioindicadores foram avaliados 21 DAA. Verificou-se que a alface foi a espécie mais sensível selecionada para ambos os herbicidas, no entanto, sua alta sensibilidade às condições climáticas adversas pode dificultar sua utilização em testes práticos. No entanto, pepino e sorgo também se mostraram candidatos potenciais como bioindicadores e podem ser utilizados em bioensaios para esses herbicidas. Para o experimento de lixiviação foi constatado que o aumento das lâminas de irrigação proporcionou deslocamento das moléculas herbicidas até a profundidade de 20-25 cm para o pyroxasulfone isolado e em associação com flumioxazin. Quando aplicadas lâminas de 90 mm de água, observou-se maior interferência no desenvolvimento do pepino nas camadas mais profundas, evidenciando a maior lixiviação dos herbicidas quando submetidos a intensas precipitações. Em relação ao efeito residual, os efeitos provocados no pepino reduziram conforme aumentaram as épocas de aplicação. O solo argiloso proporcionou maior efeito residual quando comparado com o solo franco-arenoso. As maiores doses de ambos os herbicidas promoveram maiores efeitos. O

pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin apresentaram efeito residual superior a 90 DAA em solo de textura argilosa e franco-arenosa.

Palavras-chave: herbicida; bioindicadores; lixiviação; residual.

GENERAL ABSTRACT

The use of herbicides has contributed to the expansion of agriculture, which are used to control weeds whose behavior in the environment can be influenced by several factors. Prolonged permanence and excessive leaching of herbicides can cause environmental and economic damage. Pyroxasulfone alone and mixed with flumioxazin are herbicide molecules recently registered in Brazil and, therefore, it is necessary to gather information about their behavior in the environment. In this sense, the use of bioindicator plants is an accessible and effective alternative for detecting herbicide molecules in the soil. The objective of this work was to evaluate the sensitivity of lettuce, cucumber and sorghum to pyroxasulfone and pyroxasulfone + flumioxazin herbicides in order to determine the species with the greatest bioindicator potential in soils with different textures. Subsequently, when determining the bioindicator species, a study was carried out on the behavior of pyroxasulfone and pyroxasulfone + flumioxazin in the soil, through the analysis of the leaching potential, carried out in sandy loam soil and residual effect, in soils with contrasting textures. For the selection of bioindicators, four experiments were carried out with two types of soils (Red Latosol and Quartzarenic Neosol). Treatments consisted of doses of pyroxasulfone (3.1; 6.2; 12.5; 25; 50 and 100 g i.a. ha⁻¹) and pyroxasulfone + flumioxazin (3.1 + 2.07; 6.2 + 4.13; 12.5 + 8.33; 25 + 16.67; 50 + 33.33; 100 + 66.67 g a.i. ha⁻¹) applied in pre-emergence and a control without application. The analysis of the leaching potential was carried out through a bioassay in soil columns (Quartzarenic Neosol), using cucumber as a bioindicator. Irrigations of 0, 30, 60 and 90 mm were simulated after the application of pyroxasulfone (100 g ai ha⁻¹) and pyroxasulfone + flumioxazin (100 + 66.67 g ai ha⁻¹). The study on the residual effect was carried out in two types of soils (Red Latosol and Quartzarenic Neosol). Two doses of pyroxasulfone (100 and 200 g ai ha⁻¹) and pyroxasulfone + flumioxazin (100 + 66.67 and 200 + 133.33 g ai ha⁻¹) were used, seven application times (0, 15, 30, 45, 60, 75 and 90 days between herbicide application (DAA) and bioindicator sowing), a control without application and four replications. Sowing of the cucumber bioindicator was carried out at 0 DAA. For both experiments, phytointoxication assessments were performed at 7 and 14 DAA, while plant height, root length, green biomass and dry biomass of both bioindicators were evaluated at 21 DAA. It was found that lettuce was the most sensitive species selected for both herbicides, however, its high sensitivity to adverse weather conditions may hinder its use in practical tests. However, cucumber and sorghum are also potential candidates as bioindicators and can be used in bioassays for these herbicides. For the leaching experiment, it was verified that the increase of the irrigation depths provided displacement of the herbicidal molecules up to a depth of 20 - 25 cm for pyroxasulfone alone and in association with flumioxazin. When water depths of 90 mm were applied, greater interference was observed in cucumber development in the deeper layers, evidencing the greater leaching of herbicides when subjected to intense precipitation. Regarding the residual effect, the effects caused on cucumber reduced as the application times increased. The clayey soil provided greater residual effect when compared to the sandy loam soil. Higher doses of both herbicides promoted greater effects. Pyroxasulfone and pyroxasulfone + flumioxazin showed a residual effect greater than 90 DAA in clayey and sandy loam soils.

Keywords: herbicide, bioindicators, leaching, residual

INTRODUÇÃO GERAL

A expansão da agricultura tem sido favorecida pela utilização de produtos fitossanitários, dentre eles, os herbicidas, os quais são utilizados para o controle de plantas daninhas e podem ser aplicados diretamente no solo, ou sobre a parte aérea da planta, e são destinados ao solo, independentemente do local de aplicação (MANCUSO; NEGRISOLI; PERIM, 2011).

O comportamento dos herbicidas no ambiente é influenciado, dentre outros fatores, pela sorção e dessorção às partículas do solo, as quais determinam a disponibilidade de suas moléculas na solução do solo (ROCHA *et al.*, 2003). Geralmente, observa-se uma relação inversa entre a sorção e o potencial de lixiviação desses compostos, ou seja, um herbicida com persistência prolongada no solo tende a apresentar baixo potencial de lixiviação (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

No solo, é importante verificar a permanência dos herbicidas para que as moléculas não afetem culturas subsequentes e causem prejuízos ambientais e econômicos. A utilização de espécies vegetais como bioindicadoras (bioensaio) é uma alternativa acessível e eficaz na detecção de moléculas herbicidas (DUQUE *et al.*, 2020). Entre as espécies utilizadas como bioindicadoras de herbicidas, destacam-se o pepino (*Cucumis sativus* L.) (OLIVEIRA *et al.*, 2018; JONAS *et al.*, 2020) e o sorgo (DAN *et al.*, 2012; MENDES *et al.*, 2015).

A lixiviação é importante para a incorporação superficial da maioria dos herbicidas; porém, em excesso, pode carregá-los para camadas mais profundas do solo, limitando sua ação e podendo promover a contaminação do lençol freático (MATTE, 2021). Já a persistência no solo, também chamada de efeito residual, proporciona, ao herbicida, eficácia no controle de plantas daninhas (YAMAJI *et al.*, 2014). No entanto, pode ser observada redução de produtividade e intoxicação de plantas sucessoras (MANCUSO; NEGRISOLI; PERIM, 2011).

O controle de plantas daninhas é realizado, em sua maioria, por meio de herbicidas e, nos últimos anos, herbicidas a partir de *glyphosate* tem sido os mais utilizados. Embora esses produtos sejam eficientes, pode ocorrer a seleção de plantas resistentes; portanto, novas moléculas são necessárias para controlar as infestações (MELO *et al.*, 2017; REZENDE *et al.*, 2020).

Entre as novas moléculas recentemente registradas no Brasil para o controle de plantas daninhas está o pyroxasulfone (3-[5-(difluoromethoxy)-1-methyl-3-

(trifluoromethyl)pyrazol-4-ylmethanesulfonyl] -4,5-dihydro-5,5-dimethyl-1,2-oxazole). Trata-se de um herbicida com ação inibitória da biossíntese de ácidos graxos de cadeia muito longa (VLCFA) em plantas daninhas monocotiledôneas e algumas dicotiledôneas (TANETANI *et al.*, 2009). Esse produto é seletivo a culturas, como: algodão, batata, cana-de-açúcar, cebola, citros, eucalipto, girassol, café, mandioca, milho, pinus, soja e trigo (BRASIL, 2022).

O pyroxasulfone apresenta ação herbicida quando aplicado em pré-emergência. É solúvel em água e sua meia-vida no solo é variável em função das condições edafoclimáticas. A mobilidade do pyroxasulfone no solo está relacionada à textura, conteúdo de matéria orgânica, pH e umidade do solo (WESTRA *et al.*, 2014). O conhecimento desses fatores é de fundamental importância para prever o comportamento de herbicidas nos diferentes tipos de solo e para seleção de dosagens adequadas, assim como para evitar efeitos prejudiciais ao ambiente e às culturas (MATTE, 2021).

O pyroxasulfone também pode ser associado a outros herbicidas, como é o caso do flumioxazin, inibidor da enzima protoporfirinogênio oxidase, pertencente ao grupo químico das feniltalamidas, seu uso se dá em pré e pós-emergência para o controle de plantas daninhas de folhas largas e de algumas gramíneas (PRESOTO, 2020). A associação pyroxasulfone + flumioxazin está sendo difundida devido à união de dois diferentes mecanismos de ação, tornando-se uma alternativa eficaz no controle de plantas daninhas resistentes, devido ao amplo espectro de controle (MARCUSSE, 2020).

Particularmente, no estado do Mato Grosso não existem informações sobre o potencial de lixiviação e efeito residual do pyroxasulfone isolado e suas misturas em diferentes texturas de solos. Sabendo-se da importância da agricultura para a região, surge o interesse em avaliar a lixiviação e o efeito residual dos herbicidas, assim como seus possíveis impactos ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Agrofit**. Brasília. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/servicos-e-sistemas/sistemas/agrofit>>. Acesso em: 15 ago. 2022.

DAN, H. D. A. *et al.* Atividade residual de herbicidas usados na soja sobre o girassol cultivado em sucessão. **Ciência Rural**, v. 42, n. 11, p. 1929-1935, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000081>.

DUQUE, T. S. *et al.* Uso de bioindicadoras vegetais para identificação de resíduos de herbicidas no solo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e999998123, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.8123>.

JONAS, B. F. de S. *et al.* Selection of bioindicator species of flumioxazin and saflufenacil residues in the soil. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 11, p. e139119486, 2020. DOI: [10.33448/rsd-v9i11.9486](https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9486).

MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo ("Carryover"). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 151, 2011. ISSN 2236-1065.

MARCUSSI, S. A. **Seletividade e eficiência de Pyroxasulfone e Flumioxazin, em mistura e isolados, na cultura do milho e efeito Carryover na cultura do feijão**. 2020. 69 f. Tese (Mestrado em Agronomia: Proteção de Plantas) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp Câmpus de Botucatu, 2020.

MATTE, W. D. *et al.* Bioindicators selection to monitoring pyroxasulfone mobility and persistence in soil. **Journal of Research in Weed Science**, v. 4, n. 2, p.142-150, 2021. DOI: [10.26655/JRWEEDSCI.2021.2.1](https://doi.org/10.26655/JRWEEDSCI.2021.2.1)

MELO, S. C. de *et al.* Alternativas de controle químico do capim-amargoso resistente ao glyphosate, com herbicidas registrados para as culturas de milho e algodão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 3, p. 206-215, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v16i3.556>.

MENDES, F. K. *et al.* Seleção de plantas indicadoras para o monitoramento do mesotrione e metribuzin em solo argiloso. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, MT, v. 13, n. 1, p. 53-59, 2015. Disponível em: http://www.unemat.br/revistas/rcaa/docs/vol13-1/6_artigo_rcaa_v13n1a2015.pdf. Acesso 15 ago. 2022.

OLIVEIRA, M. F.; PRATES, H. T.; SANS, L. M. A. Sorção e hidrólise do herbicida flazasulfuron. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 101-113, 2005. DOI: [10.1590/S0100-83582005000100013](https://doi.org/10.1590/S0100-83582005000100013).

OLIVEIRA, T. L. *et al.* Seleção de espécies bioindicadoras do herbicida ethoxysulfuron. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural**

and Environmental Sciences, v. 61, 2018. DOI:
<http://dx.doi.org/10.22491/rca.2018.2613>.

PRESOTO, J. C. **Interação e eficácia de flumioxazin e pyroxasulfone e influência do período de seca após aplicação em ambiente de cana-de-açúcar**. 2020. 63 p. Tese (Mestrado em Ciências: Fitotecnia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2020.

REZENDE, A. L. *et al.* Associação de herbicidas para o manejo de plantas daninhas em milho. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 19, n. 4, p. 1-8, 2020. DOI:
<https://doi.org/10.7824/rbh.v19i4.742>.

ROCHA, W. S. D.; ALLEONI, L. R. F.; REGITANO, J. B. Energia livre da sorção de imazaquin em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 239-246, 2003. DOI: 10.1590/S0100-06832003000200004.

TANETANI, Y. *et al.* Action mechanism of a novel herbicide, pyroxasulfone. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 95, n. 1, p. 47–55, 2009. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2009.06.003>.

WESTRA, E. P. *et al.* Dissipation and leaching of pyroxasulfone and s-metolachlor. **Weed Technology**, v. 28, n. 1, p. 72-81, 2014. DOI: 10.1614/WT-D-13-00047.1

YAMAJI, Y. *et al.* Weed control efficacy of a novel herbicide, pyroxasulfone. **Journal of Pesticide Science**, v. 39, n. 3, p. 165–169, 2014. DOI: 10.1584/jpestics.D14-025

SELEÇÃO DE ESPÉCIES BIOINDICADORAS PARA OS HERBICIDAS PYROXASULFONE E PYROXASULFONE + FLUMIOXAZIN EM SOLOS CONTRASTANTES

RESUMO: O pyroxasulfone e o pyroxasulfone + flumioxazin são moléculas herbicidas com atividade residual recentemente registradas no Brasil e, por isso, faz-se necessário reunir informações sobre seu comportamento nos solos. Nesse sentido, a utilização de plantas bioindicadoras em bioensaios pode contribuir com a análise do potencial toxicológico dessas moléculas quando liberadas no ambiente. O objetivo deste trabalho foi avaliar a sensibilidade de alface, pepino e sorgo aos herbicidas pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin, a fim de determinar a espécie com maior potencial bioindicador em solos com diferentes texturas. Para tanto, quatro experimentos foram realizados com dois tipos de solos (Latosolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico). Os tratamentos consistiram em doses de pyroxasulfone (3,1; 6,2; 12,5; 25; 50 e 100 g i.a. ha⁻¹) e de pyroxasulfone + flumioxazin (3,1 + 2,07; 6,2 + 4,13; 12,5 + 8,33; 25 + 16,67; 50 + 33,33; 100 + 66,67 g i.a. ha⁻¹) aplicadas em pré-emergência e uma testemunha sem aplicação. A porcentagem de injúria das espécies tratadas foi avaliada por uma escala visual de 0-100%, aos 14 dias após a aplicação (DAA), além dos efeitos dos herbicidas sobre a altura das plantas, o comprimento da raiz, a biomassa fresca total (raiz + parte aérea). Alface foi a espécie mais sensível selecionada para ambos os herbicidas e por isso é a mais recomendada para estudos de solo com pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin. Pepino e sorgo também se mostraram candidatos potenciais como bioindicadores e, também, podem ser utilizados em bioensaios para estes herbicidas.

Palavras-chave: bioensaio; plantas bioindicadoras; herbicidas.

SELECTION OF BIOINDICATOR SPECIES FOR PYROXASULFONE AND PYROXASULFONE + FLUMIOXAZIN HERBICIDES IN CONTRASTING SOILS

ABSTRACT: Pyroxasulfone and pyroxasulfone + flumioxazin are herbicidal molecules with residual activity recently registered in Brazil and, therefore, it is necessary to gather information about their behavior in soils. In this sense, the use of bioindicator plants in bioassays can contribute to the analysis of the toxicological potential of these molecules when released into the environment. The objective of this work was to evaluate the sensitivity of lettuce, cucumber and sorghum to pyroxasulfone and pyroxasulfone + flumioxazin herbicides, in order to determine the species with the greatest bioindicator potential in soils with different textures. For that, four experiments were carried out with two types of soils (Red Latosol and Quartzarenic Neosol). Treatments consisted of doses of pyroxasulfone (3.1; 6.2; 12.5; 25; 50 and 100 g i.a. ha⁻¹) and pyroxasulfone + flumioxazin (3.1 + 2.07; 6.2 + 4.13; 12.5 + 8.33; 25 + 16.67; 50 + 33.33; 100 + 66.67 g a.i. ha⁻¹) applied in pre-emergence and a control without application. The percentage of injury of the treated species was evaluated by a visual scale of 0-100%, at 14 days after application (DAA), in addition to the effects of herbicides on plant height, root length, total fresh biomass (root + aerial part). Lettuce was the most sensitive species selected for both herbicides and therefore it is the most

recommended for soil studies with pyroxasulfone and pyroxasulfone + flumioxazin. Cucumber and sorghum also proved to be potential candidates as bioindicators and they can also be used in bioassays for these herbicides.

Key-words: bioassay; bioindicator plants; herbicides.

INTRODUÇÃO

As plantas daninhas causam, de forma direta ou indireta, interferências no cultivo de grandes culturas (SANTOS *et al.*, 2020). As infestações por parte dessas plantas constituem um dos principais desafios fitossanitários a serem controlados em áreas agrícolas, em função da redução de rendimento e qualidade dos produtos colhidos (CHAVES NETO *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2019).

O controle de plantas daninhas é realizado, em sua maioria, por meio de herbicidas e, nos últimos anos, herbicidas a partir de *glyphosate* têm sido os mais utilizados. Embora esses produtos sejam eficientes, pode ocorrer a seleção de plantas resistentes aos princípios ativos e, portanto, novas moléculas são necessárias para controlar infestações por plantas daninhas (MELO *et al.*, 2017; REZENDE *et al.*, 2020).

Entre as novas moléculas herbicidas recentemente registradas no Brasil, está o pyroxasulfone (3-[5-(difluoromethoxy)-1-methyl-3-(trifluoromethyl)pyrazol-4-ylmethanesulfonyl]-4,5-dihydro-5,5-dimethyl-1,2-oxazole). Trata-se de um herbicida de pré-emergência com ação inibitória da biossíntese de ácidos graxos de cadeia muito longa (VLCFA) em plantas daninhas monocotiledôneas e algumas dicotiledôneas (TANETANI *et al.*, 2009). Atualmente, esse produto é seletivo a culturas, como: milho, soja, trigo, algodão, batata, cebola e girassol (DIÁRIO DA UNIÃO, 2020).

Pyroxasulfone também pode ser associado a outros herbicidas, como é o caso do flumioxazin – herbicida pré-emergente inibidor da enzima protoporfirinogênio oxidase. O uso de pyroxasulfone + flumioxazin foi registrado inicialmente para o controle de plantas daninhas na soja nos Estados Unidos (MCNAUGHTON *et al.*, 2014) e hoje é utilizado em diferentes países, inclusive no Brasil, que registrou esse herbicida recentemente (DIÁRIO DA UNIÃO, 2020).

No solo é importante verificar a permanência de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin para que essas moléculas não afetem culturas subsequentes e cause

prejuízos ambientais e econômicos. Entretanto, os métodos analíticos podem se tornar técnicas inacessíveis, devido à complexidade e custo elevado, como: a utilização de radioisótopos, cromatografia líquida e gasosa e a espectrometria de massa (INOUE *et al.*, 2002; DIAS *et al.*, 2019; DUQUE *et al.*, 2020).

Em contrapartida, a utilização de espécies vegetais como bioindicadoras (bioensaio) surge como uma alternativa mais acessível em função de seu baixo custo e maior simplicidade na detecção de moléculas herbicidas (DUQUE *et al.*, 2020). Entre as espécies utilizadas como bioindicadoras de herbicidas, destacam-se o pepino (*Cucumis sativus* L.) (OLIVEIRA *et al.*, 2018; JONAS *et al.*, 2020) e o sorgo (DAN *et al.*, 2012; MENDES *et al.*, 2015).

Embora as plantas bioindicadoras sejam eficientes na detecção de herbicidas, quando se trata de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin, poucos são os estudos realizados e, desse modo, selecionar espécies vegetais sensíveis a essas moléculas é importante para compreender o comportamento desses herbicidas no solo.

O pyroxasulfone e o pyroxasulfone + flumioxazin são ainda produtos pouco explorados no Brasil em virtude de sua recém aprovação para uso no país, principalmente no que se refere às espécies que apresentem sensibilidade para a detecção desses herbicidas. Sendo assim, esta pesquisa tem por objetivo avaliar a sensibilidade de alface, pepino e sorgo aos herbicidas pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin, a fim de determinar a espécie com maior potencial bioindicador em experimentos referentes a atividade dessas moléculas no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Quatro experimentos foram realizados simultaneamente em casa de vegetação durante os meses de agosto e setembro de 2021. Foram utilizados dois solos de texturas distintas, sendo o solo de textura argilosa classificado como Latossolo Vermelho, coletado no município de Tangará da Serra, MT (latitude 14° 38' 48" S e longitude 57° 26' 25" O e altitude 434 metros) e o solo franco-arenoso classificado como Neossolo Quartzarênico, coletado no município de Barra do Bugres, MT (latitude 15° 11' 38" S e longitude 57° 20' 43" O e altitude 186 metros).

As amostras de solo foram coletadas a uma profundidade de 0-10 cm, peneiradas para remoção dos resíduos presentes na superfície e acondicionadas em

vasos de polietileno com capacidade de 500 cm³. As características físico-químicas dos solos utilizados nos experimentos estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Características físico-químicas das amostras de solos utilizadas nos experimentos.

Solo	pH		Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ cmol _c dm ⁻³	Ca ²⁺	K ⁺
	CaCl ₂	H ₂ O					
LV ¹	4,30	5,00	0,44	5,25	1,07	0,71	0,26
NQ ²	4,50	5,40	0,06	1,25	0,87	0,53	0,04
P	M.O.		CTC	V	Areia	Silte	Argila
mg dm ⁻³	g dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³	%	g kg ⁻¹		
1,50	23,50		6,58	20,21	130,00	154,50	715,50
1,36	5,19		2,16	42,13	753,50	57,50	189,00

¹LV = Latossolo Vermelho (textura argilosa); ²NQ = Neossolo Quartzarênico (textura franco-arenosa). Fonte: Laboratório Plante Certo, Várzea Grande, MT.

Em cada experimento, foi utilizado um herbicida (pyroxasulfone ou a associação de pyroxasulfone + flumioxazin), um tipo de solo e três bioindicadores. Foi adotado o esquema fatorial 6 x 3, no delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições. O primeiro fator consistiu no aumento de doses de pyroxasulfone (3,1; 6,2; 12,5; 25; 50 e 100 g i.a. ha⁻¹) ou de pyroxasulfone + flumioxazin (3,1 + 2,07; 6,2 + 4,13; 12,5 + 8,33; 25 + 16,67; 50 + 33,33; 100 + 66,67 g i.a. ha⁻¹) e um tratamento controle sem aplicação. O segundo fator consistiu em três espécies selecionadas como potenciais bioindicadoras: *Lactuca sativa* (alface cv. Solaris), *Cucumis sativus* (pepino) e *Sorghum bicolor* (sorgo).

Dez sementes de cada espécie foram semeadas por vaso. Após a semeadura, os vasos receberam 10 mm de água por aspersão, a fim de manter a umidade do solo para a aplicação dos herbicidas. Duas horas após a irrigação, realizou-se a aplicação dos tratamentos herbicidas em pré-emergência. As aplicações foram realizadas com pulverizador costal a base de CO₂, dotado com barra de seis pontas XR-110.02, espaçadas entre si a 0,50 m, com volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹. No momento da aplicação, as condições climáticas eram de: temperatura de 31°C, umidade do ar de 65%, céu claro e ventos de até 3,50 km h⁻¹. Durante a condução

dos experimentos, os vasos foram irrigados diariamente com 10 mm de água via aspersão.

Os tratos fitossanitários para manejo da área foram realizados semanalmente e consistiram na aplicação de fungicida mancozebe na dose de 800 g i.a. kg⁻¹ e da aplicação de inseticida imidacloprido na dose de 700 g i.a. kg⁻¹.

Aos 14 dias após a aplicação (DAA), por meio da escala visual, avaliou-se a porcentagem de injúria das espécies utilizadas, em que 0% corresponde à ausência de injúrias e 100% à morte das plantas, de acordo com a escala de fitointoxicação proposta pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD, 1995). Aos 21 dias, foi avaliada a altura das plantas e o comprimento de raiz, amostrando-se seis plantas por unidade experimental de pepino e sorgo, enquanto a alface foi avaliada aos 28 DAA em função de seu crescimento. Todas as plantas foram coletadas, identificadas e pesadas em balança de precisão, a fim de obter os valores de biomassa fresca total (parte aérea + raiz). Não foram utilizados os valores de biomassa seca devido aos baixos valores obtidos.

Os dados obtidos foram transformados para porcentagem em relação à testemunha sem aplicação, submetidos à análise de variância e as médias foram ajustadas com equações de regressão pelo teste F ($p < 0,01$ e $0,05$), com auxílio do programa SISVAR (FERREIRA, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos foram significativos a 1% e, portanto, foi analisada a interação entre os bioindicadores e as doses testadas em relação ao tratamento testemunha de cada experimento. Desse modo, os resultados foram amostrados em gráficos de dispersão.

Aos 14 DAA, os níveis mais elevados de injúria foram observados nas plantas de alface em ambos os solos e herbicidas testados, apresentando injúrias superiores a 94% a partir da menor dose aplicada (3,1 g i.a. ha⁻¹ de pyroxasulfone e 3,1 + 2,07 g i.a. ha⁻¹ de pyroxasulfone + flumioxazin) (Figura 1A, C e D), exceto o experimento de pyroxasulfone + flumioxazin em Latossolo Vermelho, que só demonstrou esse nível de injúria após a segunda dose aplicada (6,2 + 4,13 g i.a. ha⁻¹) (Figura 1B).

Para o pepino e o sorgo, o aumento das dosagens causou incremento gradativo nos níveis de injúrias desde a menor dose aplicada em todos os experimentos, sendo

mais expressivo em Latossolo Vermelho para os dois herbicidas utilizados (Figura 1B e D). No entanto, esses efeitos foram mais leves nessas espécies quando comparados à alface (Figura 1).

Os maiores níveis de injúria em Latossolo Vermelho podem ter acontecido devido a sua capacidade de reter moléculas herbicidas. Segundo Takeshita *et al.* (2019), as propriedades físico-químicas do solo exercem efeitos na retenção e comportamento de herbicidas no solo que podem ficar retidos tanto na fração orgânica quanto mineral.

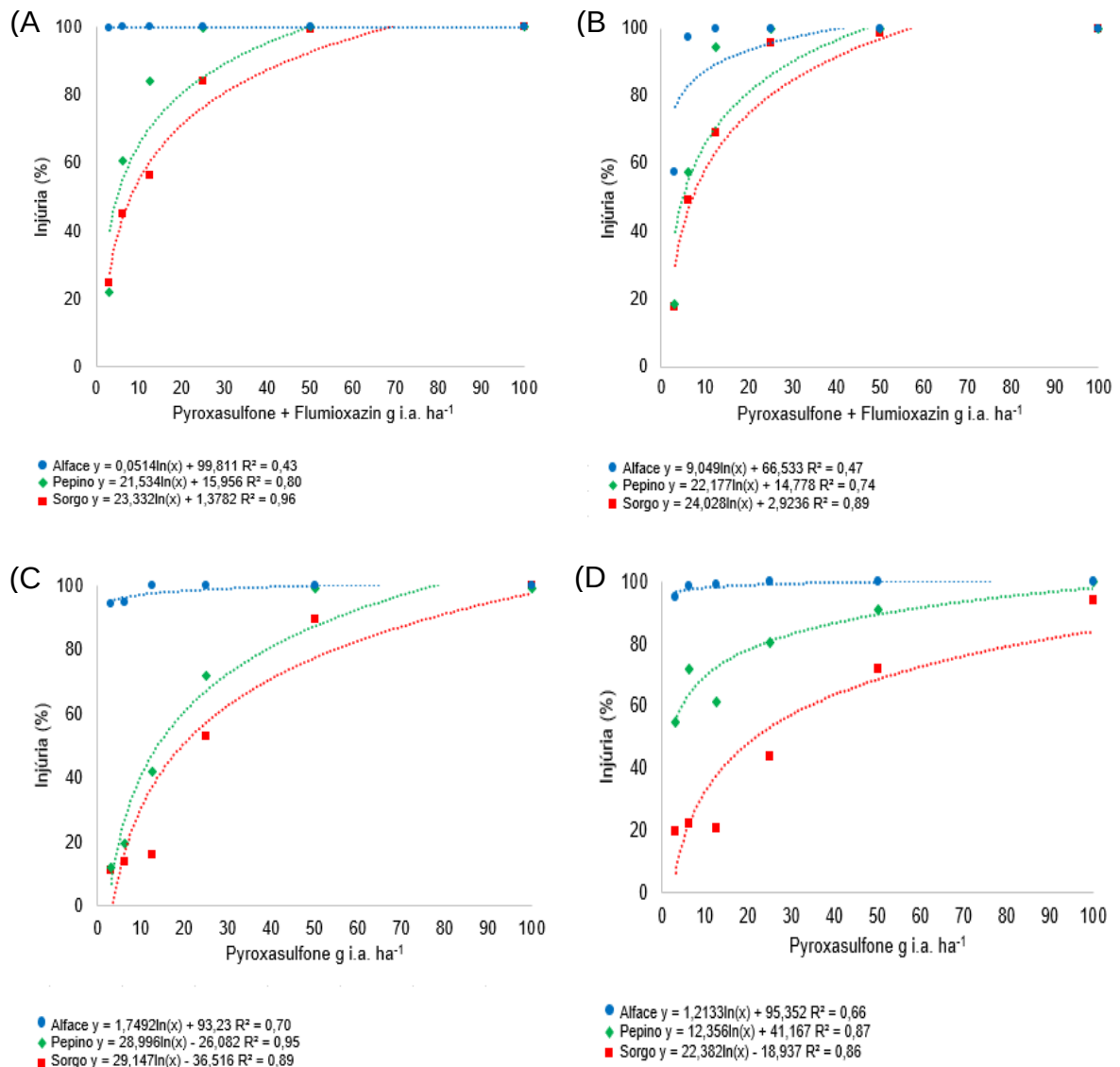


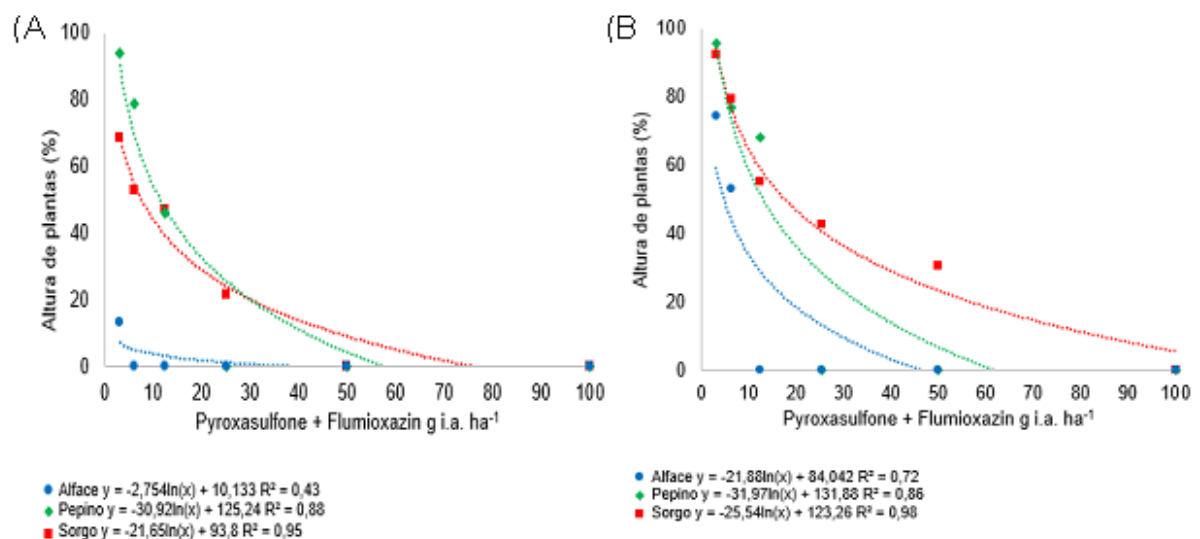
Figura 1. Injúria (%) nas plantas de alface (*Lactuca sativa*), pepino (*Cucumis sativus*) e sorgo (*Sorghum bicolor*) aos 14 dias após a aplicação de pyroxasulfone + flumioxazin em pré-emergência em solo franco-arenoso (A), pyroxasulfone +

flumioxazin em pré-emergência em solo argiloso (B), pyroxasulfone em pré-emergência em solo franco-arenoso (C) e pyroxasulfone em pré-emergência em solo argiloso (D).

O efeito dos herbicidas na altura das plantas é apresentado na Figura 2. A altura das plantas bioindicadoras testadas diminuiu conforme as doses dos herbicidas aumentaram em ambos os tipos de solos. Entretanto, quando aplicado o pyroxasulfone em Latossolo Vermelho as plantas de alface foram mais suscetíveis ao herbicida, o que ocasionou a morte de 100% das plantas em todas as doses utilizadas (Figura 2D).

A alta sensibilidade da alface a pequenas doses de herbicidas também é constatada no trabalho de Ferreira *et al.* (2021) em que todos os espécimes de alface morreram mesmo na dose mais baixa testada do herbicida tebuthiuron (0,12 kg ha⁻¹), o que pode justificar a mortalidade precoce da alface mesmo nas doses mais baixas.

A menor resposta na altura das plantas em relação a dose aplicada foi observada no experimento de pyroxasulfone + flumioxazin em Neossolo Quartzarênico com 13,39; 21,42; e 46,28% nas doses de 3,1 + 2,07; 25 + 16,67; 12,5 + 8,33 g i.a. ha⁻¹ para alface, sorgo e pepino respectivamente (Figura 2A).



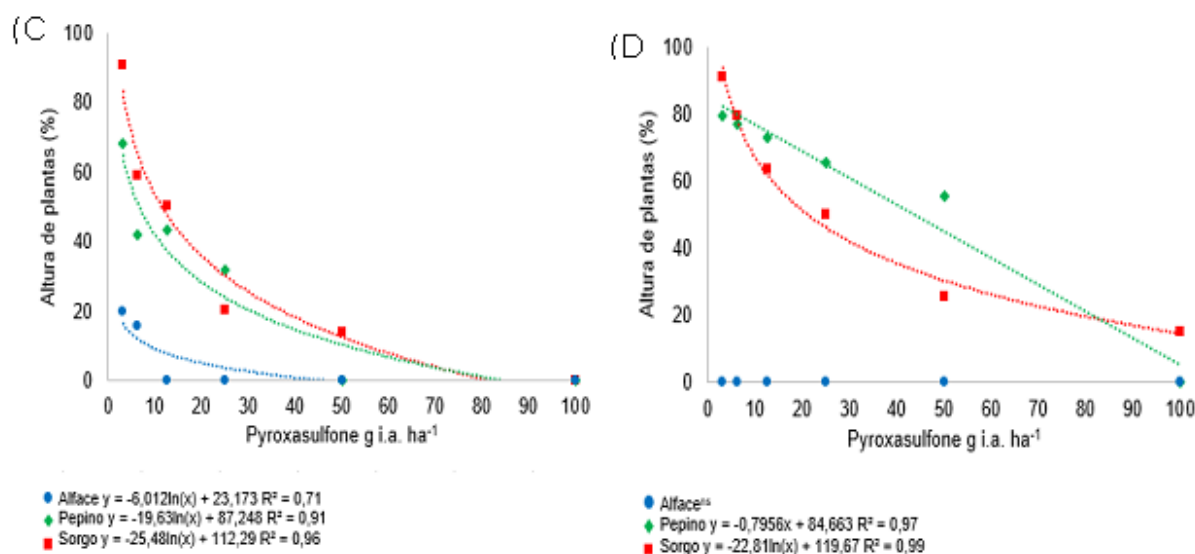


Figura 2. Altura (%) das plantas de alface (*Lactuca sativa*), pepino (*Cucumis sativus*) e sorgo (*Sorghum bicolor*) após a aplicação de pyroxasulfone + flumioxazin em pré-emergência em solo franco-arenoso (A), pyroxasulfone + flumioxazin em pré-emergência em solo argiloso (B), pyroxasulfone em pré-emergência em solo franco-arenoso (C) e pyroxasulfone em pré-emergência em solo argiloso (D).

O comprimento de raiz das espécies analisadas (alface, pepino e sorgo) diminuíram com o aumento das doses aplicadas de ambos os herbicidas utilizados nos dois tipos de solos. No entanto, esses efeitos foram mais intensos nas plantas de alface, devido sua alta suscetibilidade (Figura 3).

Nessa variável, a menor resposta obtida relacionada à dose de herbicida utilizada foi registrada no experimento de pyroxasulfone + flumioxazin aplicado em Neossolo Quartzarênico com 15,85; 52,12; e 97,63% nas doses de 3,1 + 2,07; 25 + 16,67; 12,5 + 8,33 g i.a. ha⁻¹ para alface, sorgo e pepino respectivamente (Figura 3A).

A influência do Neossolo Quartzarênico sobre a altura e comprimento da raiz das plantas bioindicadoras testadas pode estar relacionada a baixa capacidade de suporte oferecida por esse solo. Chaves Neto *et al.* (2019) afirmam que solos com aspecto argiloso oferecem maior capacidade de suporte para o desenvolvimento de plantas que os de aspecto franco arenoso.

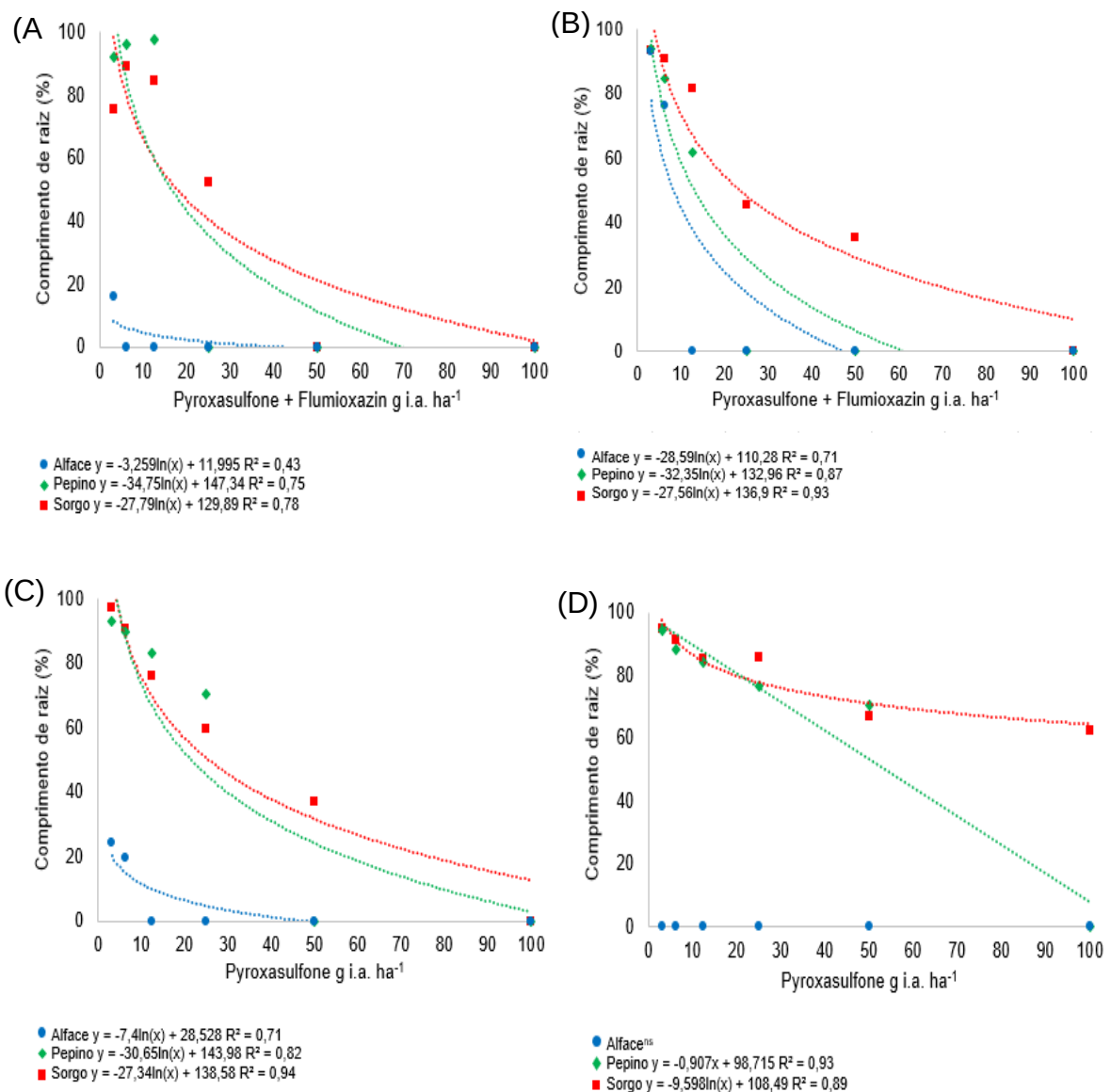


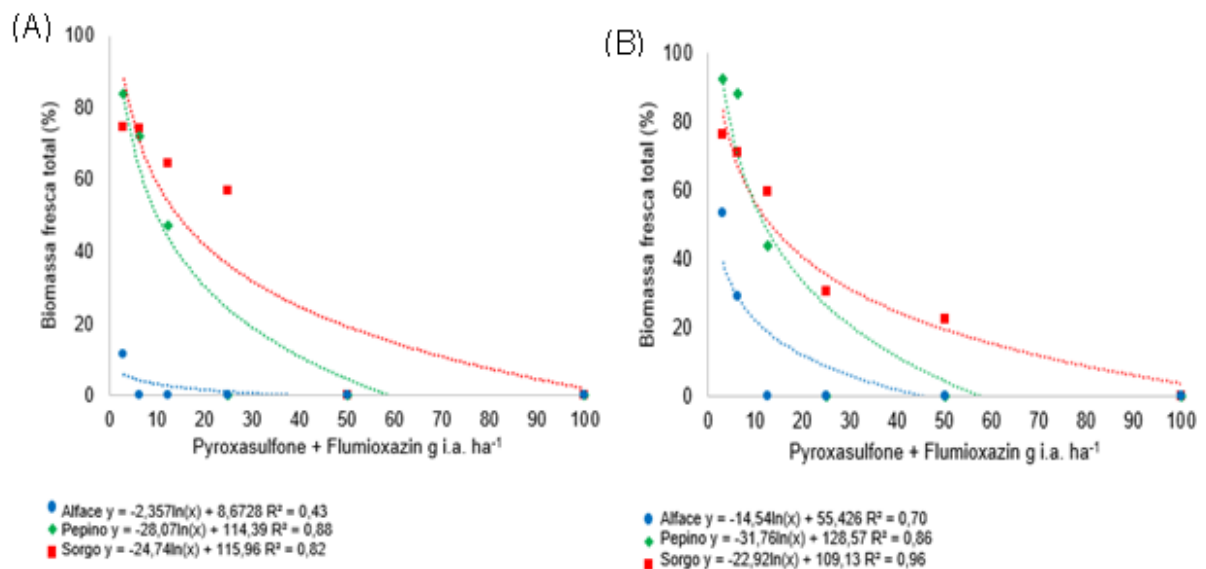
Figura 3. Comprimento de raízes (%) das plantas de alface (*Lactuca sativa*), pepino (*Cucumis sativus*) e sorgo (*Sorghum bicolor*) após a aplicação de pyroxasulfone + flumioxazin em pré-emergência em solo franco-arenoso (A), pyroxasulfone + flumioxazin em pré-emergência em solo argiloso (B), pyroxasulfone em pré-emergência em solo franco-arenoso (C) e pyroxasulfone em pré-emergência em solo argiloso (D).

Para a variável biomassa fresca total o maior efeito dos tratamentos com pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin foi observado na alface, seguido pelo pepino e sorgo nos dois tipos de solo (Figura 4). Reduções graduais no desenvolvimento de alface, pepino e sorgo também foi verificada por Matte *et al.*

(2021) para pyroxasulfone isolado de acordo com o aumento das doses, corroborando com os dados de altura, comprimento de raiz e biomassa fresca total.

Em Neossolo Quartzarênico a biomassa total das plantas de sorgo, pepino e alface foi reduzida para 56,75; 47,25 e 11,46% quando tratadas com pyroxasulfone + flumioxazin e para 30,03; 32,48 e 7,76% quando tratadas com pyroxasulfone respectivamente (Figura 4A). Já em Latossolo Vermelho a biomassa total das plantas de sorgo, pepino e alface foi reduzida para 22,49; 43,63 e 28,95% quando tratadas com pyroxasulfone + flumioxazin (Figura 4B). O tratamento com pyroxasulfone ocasionou a morte de 100% das plantas de alface e reduziu a biomassa total de sorgo e pepino para 16,24 e 32,56% respectivamente (Figura 4D).

A alta sensibilidade da alface a pequenas doses de herbicidas também é constada no trabalho de Matte *et al.* (2021) em que o maior efeito dos tratamentos com pyroxasulfone foi observado na alface, seguido pelo sorgo e pepino. Corroborando com os dados obtidos para a alface em Latossolo Vermelho quando aplicado pyroxasulfone isolado.



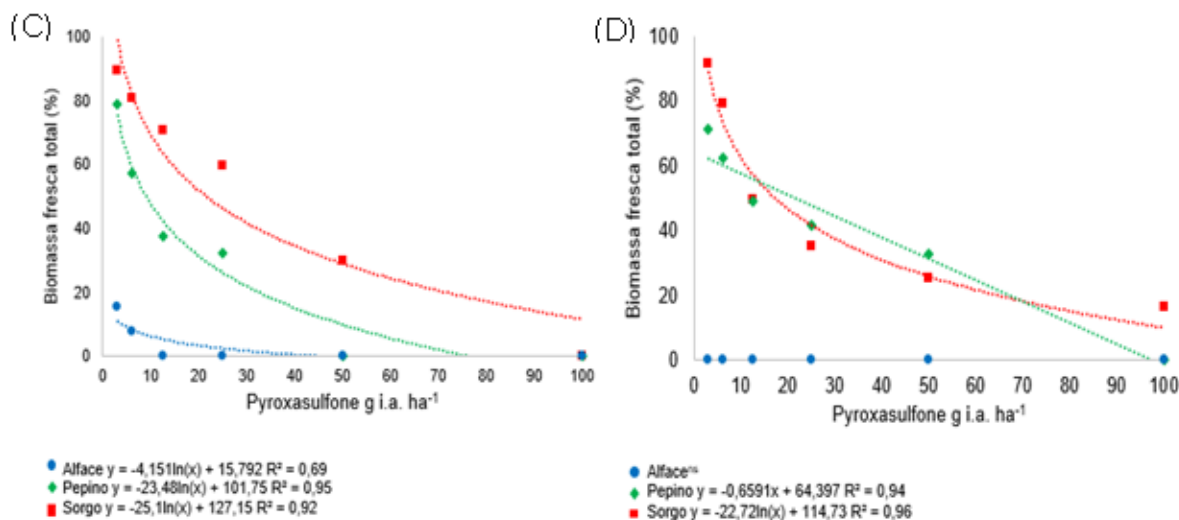


Figura 4. Biomassa fresca total (parte aérea + raiz) (%) das plantas de alface (*Lactuca sativa*), pepino (*Cucumis sativus*) e sorgo (*Sorghum bicolor*) após a aplicação de pyroxasulfone + flumioxazin em pré-emergência em solo franco-arenoso (A), pyroxasulfone + flumioxazin em pré-emergência em solo argiloso (B), pyroxasulfone em pré-emergência em solo franco-arenoso (C) e pyroxasulfone em pré-emergência em solo argiloso (D).

Diante dos resultados obtidos para altura, comprimento de raiz e biomassa fresca total, a associação de pyroxasulfone + flumioxazin proporcionou maior impacto sobre as plantas bioindicadoras quando aplicado em Neossolo Quartzarênico. Jaremtchuk *et al.* (2009) constataram que o flumioxazin promoveu maior controle das espécies testadas em solo arenoso do que em solo argiloso, até mesmo quando aplicado com maior antecipação em relação a semeadura, o que contribui para os dados desta pesquisa.

Em contrapartida, o pyroxasulfone isolado provocou maior interferência no desenvolvimento das plantas bioindicadoras ocasionando reduções severas na altura, comprimento da raiz e biomassa fresca, quando comparado ao pyroxasulfone + flumioxazin, que só se mostrou similar ao isolado em injúria aos 14 DAA. Os efeitos do pyroxasulfone isolado foram, desse modo, mais expressivos em Latossolo Vermelho (Figuras 2, 3 e 4).

Nesta pesquisa, a alface foi a espécie considerada mais suscetível ao pyroxasulfone isolado e pyroxasulfone + flumioxazin. No entanto, além da alta suscetibilidade aos herbicidas, a alface apresenta maior sensibilidade às condições

climáticas adversas, como: temperatura, umidade e regime de chuvas; o que dificulta a utilização desta espécie em testes práticos (MATTE *et al.*, 2021).

Portanto, considerando a adaptabilidade das espécies testadas, pepino e sorgo também podem ser utilizadas como bioindicadoras da presença de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin no solo. O pepino é também recomendado como bioindicador de herbicidas como diuron, ethoxysulfuron, hexazinone e mesotrione (INOUE *et al.*, 2012; MENDES *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2018). Enquanto o sorgo é recomendado como bioindicador para o herbicida indaziflam na pesquisa de Braga *et al.* (2020).

Embora alface, pepino e sorgo sejam recomendados como bioindicadoras de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin no solo e, considerando que são herbicidas recentemente aprovados para uso no Brasil, a identificação de outras espécies com potencial uso como bioindicadoras pode contribuir para o estudo e monitoramento do comportamento desses herbicidas no solo.

CONCLUSÕES

A alface foi a espécie mais sensível ao pyroxasulfone isolado e à mistura pyroxasulfone + flumioxazin, podendo ser selecionada para estudos sobre o comportamento de herbicida no ambiente. No entanto, a espécie apresenta alta sensibilidade a condições climáticas adversas, o que dificulta sua utilização em testes práticos.

Dessa forma, o pepino e sorgo também apresentam potencial bioindicador e são recomendados para verificar a presença dos herbicidas no solo.

As plantas bioindicadoras foram mais sensíveis à associação de pyroxasulfone + flumioxazin aplicado em Neossolo Quartzarênico e ao pyroxasulfone isolado aplicado em Latossolo Vermelho.

REFERÊNCIAS

BRAGA, R. R. *et al.* Selection of vegetable indicators of indaziflam residues in soil. Revista **Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 2, e7737, 2020. DOI: DOI:10.5039/agraria.v15i2a7737

CHAVES NETO, J. R. *et al.* Resistência de plantas daninhas a herbicidas e controle alternativo: uma revisão. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 3, p. 183-201, 2019. DOI: <https://doi.org/10.30945/rcr-v21i3.3124>

DAN, H. D. A. *et al.* Atividade residual de herbicidas usados na soja sobre o girassol cultivado em sucessão. **Ciência Rural**, v. 42, n. 11, p. 1929-1935, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000081>

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. Ato CGAA nº 48 de 17 de agosto de 2020. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Ed. 160, S. 1, p. 17, 20 ago. 2020. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=20/08/2020&jornal=515&pagina=17>. Acesso em: 17 ago. 2021.

DIAS, R. C. *et al.* Seleção de espécies bioindicadoras para o herbicida indaziflam. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 18, n. 1, e650, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7824/rbh.v18i2.650>

DUQUE, T. S. *et al.* Uso de bioindicadoras vegetais para identificação de resíduos de herbicidas no solo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e999998123, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.8123>

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-12, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>

FERREIRA, J. H. S. *et al.* Seleção de espécies bioindicadoras da presença de tebuthiuron no solo. **Agrarian**, v. 14, n. 52, p. 203-212, 2021. DOI: [10.30612/agrarian.v14i52.13276](https://doi.org/10.30612/agrarian.v14i52.13276)

INOUE, M. H. *et al.* Seleção de bioindicadores para herbicidas residuais aplicados em pré-emergência. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 10, n. 2, p. 173-182, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/274696472_Selecao_de_bioindicadores_para_herbicidas_residuais_aplicados_em_pre-emergencia. Acesso 15 ago. 2021.

INOUE, M. H. *et al.* Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 20, n. 1, p. 125-132, 2002. DOI: [10.1590/S0100-83582002000100016](https://doi.org/10.1590/S0100-83582002000100016)

JAREMTCHUK, C. C. *et al.* Efeito residual de flumioxazin sobre a emergência de plantas daninhas em solos de texturas distintas. **Planta Daninha**, v. 27, n. 1, p. 191-196, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000100024>

JONAS, B. F. de S. *et al.* Selection of bioindicator species of flumioxazin and saflufenacil residues in the soil. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 11, p. e139119486, 2020. DOI: [10.33448/rsd-v9i11.9486](https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9486)

KHALIL, Y. *et al.* A bioassay for prosulfocarb, pyroxasulfone and trifluralin detection and quantification in soil and crop residues. **Crop and Pasture Science**, v. 69, n. 6, p. 606-616, 2018. DOI: [10.1071/CP18026](https://doi.org/10.1071/CP18026)

MATTE, W. D. *et al.* Bioindicators selection to monitoring pyroxasulfone mobility and persistence in soil. **Journal of Research in Weed Science**, v. 4, n. 2, p. 142-150, 2021. DOI: 10.26655/JRWEEDSCI.2021.2.1

MCNAUGHTON, K. E. *et al.* Soybean (*Glycine max*) Tolerance to Timing Applications of Pyroxasulfone, Flumioxazin, and Pyroxasulfone + Flumioxazin. **Weed Technology**, v. 28, n. 3, p. 494–500. DOI:10.1614/wt-d-14-00016.1

MELO, S. C. de *et al.* Alternativas de controle químico do capim-amargoso resistente ao glyphosate, com herbicidas registrados para as culturas de milho e algodão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 3, p. 206-215, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v16i3.556>

MENDES, F. K. *et al.* Seleção de plantas indicadoras para o monitoramento do mesotrione e metribuzin em solo argiloso. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, MT, v. 13, n. 1, p. 53-59, 2015. Disponível em: http://www.unemat.br/revistas/rcaa/docs/vol13-1/6_artigo_rcaa_v13n1a2015.pdf. Acesso 14 ago. 2021.

NAKATANI, M. *et al.* Development of the novel pre-emergence herbicide pyroxasulfone. **Journal of Pesticide Science**, v. 41, n. 3, p. 107-112, 2016. DOI: 10.1584/jpestics.J16-05

NUNES, A. L.; VIDAL, R. A. *et al.* Seleção de Plantas quantificadoras de herbicidas residuais. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 19, p. 18-28, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/pes.v19i0.16550>

OLIVEIRA, T. L. *et al.* Seleção de espécies bioindicadoras do herbicida ethoxysulfuron. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 61, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2018.2613>

REZENDE, A. L. *et al.* Associação de herbicidas para o manejo de plantas daninhas em milho. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 19, n. 4, p. 1-8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.7824/rbh.v19i4.742>

SANTOS, T. S. dos *et al.* Levanto de plantas daninhas em soja cultivada sob diferentes espaçamentos em savana amazônica. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 63, p. 1-10, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/3305/1604>. Acesso em: 18 ago. 2021.

SILVA JÚNIOR, A. C. da *et al.* Evaluation of leaching potential of tebuthiuron using bioindicator plants. **Arquivos Instituto Biológico**, v. 85, n. 1-9, e0692015, p. 1-9, 2018. DOI: 10.1590/1808-1657000692015

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

SOUZA, R. G. de *et al.* Desempenho agronômico de soja, sob interferência de plantas infestantes. **Cultura Agrônômica**, v. 28, n. 2, p. 194-203, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.32929/2446-8355.2019v28n2p194-203>

SZMIGIELSKI, A. M.; JOHNSON, E. N.; SCHOENAU, J. J. A bioassay evaluation of pyroxasulfone behavior in prairie soils. **Journal of Pesticide Science**, v. 39, n. 1-2, p. 22-28, 2014. DOI: 10.1584/jpestics.D13-073

TAKESHITA, V. *et al.* Effect of organic matter on the behavior and control effectiveness of herbicides in soil. **Planta Daninha**, v. 37, e019214401, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100110>

TANETANI, Y. *et al.* Action mechanism of a novel herbicide, pyroxasulfone. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 95, n. 1, p. 47-55, 2009. DOI: 10.1016/j.pestbp.2009.06.003

POTENCIAL DE LIXIVIAÇÃO DE PYROXASULFONE E PYROXASULFONE + FLUMIOXAZIN EM SOLO SUBMETIDOS À DIFERENTES SIMULAÇÕES DE PRECIPITAÇÃO

RESUMO: O intenso uso de herbicidas implica a necessidade de determinar o potencial dessas substâncias em contaminar fontes aquáticas subsuperficiais. Diante dessa preocupação, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de lixiviação dos herbicidas pyroxasulfone isolado e em associação com flumioxazin, sob diferentes simulações de precipitações pluviais, em solo de textura franco-arenosa, classificado como Neossolo Quartzarênico proveniente de Barra do Bugres –MT. No desenvolvimento deste trabalho utilizou-se a espécie *Cucumis sativus* como bioindicadora no experimento de bioensaio em colunas de solo. Para isso, as amostras de solos foram acondicionadas em colunas de PVC com 25 cm de altura e 10 cm de diâmetro. A aplicação de pyroxasulfone (100 g de i.a. ha⁻¹) e pyroxasulfone + flumioxazin (100 + 66,67 g i.a. ha⁻¹) foi realizada em pré-emergência e em seguida, simulado as precipitações. Foi adotado o esquema fatorial 5 x 4, com três repetições. Os fatores correspondem às cinco faixas de profundidades na coluna (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-25 cm) e às quatro intensidades de irrigação (0, 30, 60 e 90 mm). Aos 14 dias após a aplicação (DAA) foi realizada a avaliação de fitointoxicação e, aos 21 DAA foi avaliado a altura de plantas e a biomassa seca total (parte aérea + raiz). Evidenciou-se que o aumento das lâminas de irrigação proporcionou lixiviação até a profundidade de 20-25 cm para o pyroxasulfone isolado e em associação com flumioxazin. Quando aplicado lâminas de 90 mm de água, observou-se maior interferência no desenvolvimento do *Cucumis sativus* nas camadas mais profundas, evidenciando a maior lixiviação dos herbicidas quando submetidos a intensas precipitações.

Palavras-chave: águas subterrâneas; bioindicador; contaminação; impacto ambiental; textura

LEACHING POTENTIAL OF PYROXASULFONE AND PYROXASULFONE + FLUMIOXAZIN IN DIFFERENT SOIL TO EXCLUSION SIMULATIONS

ABSTRACT: The intense use of herbicides implies the need to determine the potential of these substances to contaminate subsurface water sources. In view of this concern, the objective of this work was to evaluate the leaching potential of pyroxasulfone herbicides alone and in association with flumioxazin, under different simulations of rainfall, in sandy loam texture soil, classified as Neosol from Barra do Bugres – MT. In the development of this work, the species *Cucumis sativus* was used as a bioindicator in the bioassay experiment in soil columns. For this, soil samples were placed in PVC columns 25 cm high and 10 cm in diameter. The application of pyroxasulfone (100 g a.i. ha⁻¹) and pyroxasulfone + flumioxazin (100 + 66.67 g a.i. ha⁻¹) was performed in pre-emergence and then simulated precipitation. A 5 x 4 factorial scheme was adopted, with three replications. The factors correspond to the five column depth ranges (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 and 20-25 cm) and the four irrigation intensities (0, 30, 60 and 90 mm). At 14 days after application (DAA), phytotoxicity was evaluated and,

at 21 DAA, plant height and total dry biomass (shoot + root) were evaluated. It was evident that the increase in irrigation depths provided leaching to a depth of 20-25 cm for pyroxasulfone alone and in association with flumioxazin. When water depths of 90 mm were applied, greater interference was observed in the development of *Cucumis sativus* in the deeper layers, showing greater leaching of herbicides when subjected to intense precipitation.

Keywords: groundwater; bioindicator; contamination; environmental impact; texture

INTRODUÇÃO

Para uma agricultura sustentável, torna-se necessário compreender o comportamento de herbicida no ambiente. Informações como profundidade do lençol freático, presença de nascentes, práticas conservacionistas de solo (entre outras) são cruciais ao se ponderar tomadas de decisões para evitar danos, como os causados por lixiviação dos herbicidas (MARCHESE, 2007; INOUE *et al.*, 2007).

O processo de lixiviação é o transporte da solução do solo em profundidade através do perfil do solo. Esse processo pode trazer sérios passivos ambientais por transportar moléculas indesejáveis para camadas mais profundas do solo onde sua degradação se torna mais lenta devido à diminuição da ação de microrganismos. Outro ponto relevante é que por meio do processo de lixiviação as moléculas aplicadas no controle de plantas daninhas não atingem seu alvo (OLIVEIRA JR, 2002).

Para se estimar a lixiviação, o método mais utilizado é por meio de percolação em colunas preenchidas com solo, devido ao baixo custo em relação ao uso do lisímetro e bons resultados práticos quando aliado à utilização de plantas sensíveis às moléculas testadas, cuja própria planta, por meio de alterações em suas características fisiológicas, indica ou não, a lixiviação das moléculas estudadas no perfil do solo (INOUE *et al.*, 2011; PRATA *et al.*, 2001; PACHECO, 2017).

A frequência de água que passa pelo perfil de solo também é um fator importante no processo de lixiviação e de distribuição dos herbicidas pelo perfil do solo e está intimamente relacionada ao tipo de solo onde se aplica os herbicidas. Nos solos tropicais o processo de lixiviação é intensificado pela baixa capacidade de sorção desses solos, que segundo Marchese (2007), quanto menor a intensidade de sorção do solo, maior será a mobilidade da molécula no solo.

Para controle de plantas daninhas, o herbicida pyroxasulfone, que foi descoberto por K-I Chemical Research Institute Co., Ltd. e desenvolvido pela Kumiai Chemical Industry Co., Ltd. e Ihara Chemical Industry Co., Ltd., apresenta relevante

controle de gramíneas e folhas largas oriundas de sementes pequenas quando aplicado em pré-emergência. O herbicida inibe a biossíntese de ácidos graxos de cadeia longa na planta (NAKATANI *et al.*, 2016).

O flumioxazin é um herbicida pertencente ao grupo químico das fenilftalamidas, seu uso se dá em pré e pós-emergência para o controle de plantas daninhas de folhas largas e para controle de algumas gramíneas em várias culturas. O mecanismo de ação do herbicida é descrito pela inibição da enzima PROTOX (protoporfirinogênio oxidase) que degrada membranas e proteínas celulares em presença de luz (PRESOTO, 2020).

A associação pyroxasulfone e flumioxazin vem sendo difundida por ser a união de dois diferentes mecanismos de ação, sendo uma alternativa no controle de plantas resistentes a determinadas moléculas herbicidas. Assim, o estudo dos ativos separados e em associação passa a ser indispensável visto que há possíveis efeitos residuais nas culturas sucessoras pelo histórico de efeitos fitotóxicos que eles podem, eventualmente, apresentar (MARCUSSE, 2020).

A pyroxasulfone é um herbicida que foi registrado recentemente no Brasil; portanto, há carência de informações sobre a sua eficiência no controle das plantas daninhas, do seu comportamento no ambiente, e do potencial de lixiviação no solo, bem como seletividade para as culturas.

Nesse sentido, objetivou-se no, presente trabalho, avaliar o potencial de lixiviação dos herbicidas pyroxasulfone isolado e em associação com flumioxazin, sob diferentes simulações de precipitações pluviais, em solo de textura franco-arenosa.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente à Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), câmpus universitário de Tangará da Serra – MT. As amostras de solos foram coletadas na profundidade de 0 - 10 cm, no município de Barra do Bugres – MT (com coordenadas geográficas de latitude 13°32'10" e Longitude 58°49'6" em agosto de 2021) de textura franco-arenosa, classificado como Neossolo Quartzarênico. As características físicas e químicas das amostras dos solos estão na Tabela 2.

Tabela 2: Características físico-químicas das amostras de solos utilizadas no experimento.

pH		Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ cmol _c dm ⁻³	Ca ²⁺	K
CaCl ₂	H ₂ O					
4,50	5,40	0,06	1,25	0,87	0,53	0,04

P	M.O.	CTC	V	Areia	Silte	Argila
mg dm ⁻³	g dm ⁻³					
1,36	5,19	2,16	42,13	753,50	57,50	189,00

Fonte: Laboratório Plante Certo, Várzea Grande, MT.

As amostras foram peneiradas em malhas de 2 mm e devidamente acondicionadas em colunas de PVC com 25 cm de altura e 10 cm de diâmetro, anteriormente recobertas com parafina na superfície interna, visando evitar a retenção da água nas bordas internas da coluna. A extremidade inferior das colunas foi fechada com tecido do tipo *voil*, para reter o solo. Após o acondicionamento do solo nas colunas, elas foram umedecidas por capilaridade durante 8 horas para saturação das amostras. Em seguida, as colunas foram mantidas sobre a bancada da casa de vegetação por 24 horas, para drenagem do excesso de água.

O ensaio foi composto pela combinação entre pyroxasulfone e a associação de pyroxasulfone + flumioxazin e um solo de textura franco-arenosa. Foi adotado o delineamento em blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial 5 x 4, com três repetições. Os fatores referem-se às cinco faixas de profundidades na coluna (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-25 cm) e às quatro intensidades de irrigação (0, 30, 60 e 90 mm).

Os herbicidas pyroxasulfone e a associação de pyroxasulfone + flumioxazin foram aplicados no topo das colunas na dose de 100 g de i.a. ha⁻¹ e 100 + 66,67 g i.a. ha⁻¹, respectivamente, utilizando um pulverizador costal pressurizado a CO₂, munido de bicos tipo leque XR110.02, espaçadas entre si a 0,50 m, proporcionando vazão de 200 L ha⁻¹, mantendo-se 0,50 m entre a borda superior da coluna e a barra de aplicação.

Em seguida, foram simuladas precipitações de 0, 30, 60 e 90 mm, com auxílio de um equipamento simulador de chuvas. As colunas foram seccionadas longitudinalmente com uma serra elétrica, obtendo-se duas metades, que foram separadas três dias após a aplicação dos herbicidas. Posteriormente, cada coluna foi

dividida em cinco seções de 5 cm a partir da superfície. Cada seção do corte das colunas foi condicionada em um recipiente de polietileno onde se realizou a semeadura da espécie bioindicadora pepino (*Cucumis sativus* L.), utilizando 5 sementes em cada seção da coluna, semeadas a 1,5 cm de profundidade.

Aos 14 dias após a emergência (DAE), realizaram-se avaliações de fitointoxicação, nas diferentes seções da coluna (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-25 cm de profundidade), por meio da escala visual, em que 0% corresponde à ausência de injúrias e 100% à morte das plantas, de acordo com a escala de fitointoxicação proposta pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD, 1995).

Aos 21 DAE, foi avaliada a altura das plantas e a biomassa seca total (parte aérea + raiz). Todas as plantas foram coletadas, identificadas e levadas à estufa a 60° C até atingir massa constante, posteriormente foram pesadas em balança de precisão, a fim de obter os valores de biomassa seca total.

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias, comparadas pelo teste de agrupamento de Scott Knott a 5% de probabilidade, utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pyroxasulfone associado ao flumioxazin apresentou efeito significativo para os fatores isolados, precipitação e profundidades na coluna, bem como interação entre eles, em relação a fitointoxicação aos 14 e 21 DAE das plantas (Tabela 3).

Na profundidade de 20 a 25 cm e lâmina de precipitação de 90 mm, aos 14 DAE, podemos notar uma diferença significativa com relação a fitointoxicação, diferindo-se das precipitações de 0, 30 e 60 mm, mostrando que com o aumento da lâmina de água, ocorre a potencialização da lixiviação para as camadas mais profundas do solo estudado (Tabela 3).

Tabela 3: Fitointoxicação de pepino (*C. sativus*) após aplicação do pyroxasulfone + flumioxazin aos 14 DAE em solo franco-arenoso.

Profundidade em colunas (cm)	Lâmina aplicada (mm)							
	0		30		60		90	
0 – 5	93,66	Aa	92,66	Aa	94,00	Aa	94,33	Aa
5 – 10	88,00	Ab	84,66	Ab	99,00	Aa	99,33	Aa
10 – 15	90,00	Aa	97,66	Aa	100,00	Aa	100,00	Aa
15 – 20	96,66	Aa	100,00	Aa	98,33	Aa	100,00	Aa
20 – 25	73,33	Bb	93,33	Ba	83,00	Bb	92,66	Aa

*Médias com mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott 5%. CV = 6,19%.

Marcussi (2020), trabalhando com pyroxasulfone e flumioxazin de forma isolada e em mistura no controle de plantas daninhas na cultura do milho, observou eficácia média acima de 95% de controle das espécies *Bidens pilosa*, *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea grandifolia*. Ao utilizar a dose de 90 g de i.a. ha⁻¹ e 60 g de i.a. ha⁻¹ de pyroxasulfone e flumioxazin, respectivamente, o controle foi de 98%, aos 14 e aos 21 dias. Segundo o mesmo autor, a associação dos herbicidas pyroxasulfone + flumioxazin apresentou as melhores médias de controle para as espécies *Urochloa plantaginea*, *Digitaria horizontalis* e *Eleusine indica*, em todas as épocas e doses avaliadas, sendo as médias de controle, aos 95 DAA, acima dos 80% para todas as espécies monocotiledôneas.

A lixiviação observada nesse solo se deve à baixa capacidade de sorção do solo franco-arenoso, em razão de seu baixo teor de matéria orgânica (5,19 g dm⁻³) e de argila (18%) (CARVALHO *et al.*, 2011). Segundo Marchese (2007), a lixiviação de herbicidas no solo depende dos processos sortivos, a qual controla a quantidade de moléculas na solução do solo, determinando a persistência e a lixiviação no ambiente, visto que, quanto maior a intensidade de sorção, menor será a mobilidade do herbicida no perfil do solo.

Melo *et al.* (2010), estudando diferentes solos com diferentes texturas e teores de matéria orgânica, observaram controle máximo do bioindicador em solo de textura arenosa com baixo teor de matéria orgânica, indicando menor sorção das moléculas do herbicida e, conseqüentemente, elevada disponibilidade na solução do solo,

potencializando a lixiviação. Esse fato pode estar relacionado à lixiviação observada no solo em estudo, para as moléculas de pyroxasulfone e flumioxazin, pois ele apresenta baixo teor de argila (18%), baixo teor de matéria orgânica ($5,19 \text{ g dm}^{-3}$) e, conseqüentemente, baixa CTC ($2,16 \text{ cmol dm}^{-3}$), acarretando na ocorrência de maior frequência da presença de óxido de ferro e alumínio; portanto, baixa capacidade de retenção de cargas e sorção das moléculas dos herbicidas, ficando mais susceptíveis a lixiviação (OLIVEIRA JR., 2001).

Aos 21 DAE foi observado que a fitointoxicação foi bastante severa para ambos os tratamentos, sendo que apenas na camada de 20 a 25 cm não ocorreu o total controle das plantas bioindicadoras de *C. sativus*; porém, nessa profundidade de solo, a fitointoxicação se acentuou conforme o aumento da precipitação, a interação significativa entre os tratamentos. Para a lâmina de precipitação de 90 mm, foi observada a maior fitointoxicação das plantas bioindicadoras, sendo que nas lâminas de 0 e 30 mm, não foi observado diferença significativa entre elas (Tabela 4).

Monquero *et al.* (2008), estudando sobre a lixiviação de diferentes herbicidas em dois tipos de solo, destacam que os herbicidas avaliados possuem tendência a serem lixiviados sofrendo influência de precipitações, sejam elas oriundas da chuva ou irrigação, apresentando ainda efeito maior em solo com textura média e com menores teores de matéria orgânica.

Segundo Rodrigues & Almeida (2018), o flumioxazin apresenta baixo potencial de lixiviação no solo, degradação principalmente microbiana, suscetível a fotodecomposição, não volátil e não persistente no solo. Já para Oliveira (1995), esse herbicida é fortemente sorvido pelos coloides do solo e apresenta pequena taxa de lixiviação e curto efeito residual. A CTC e a CTA (Capacidade de Troca de Cátions e Ânion) são relevantes no estudo do potencial de lixiviação das moléculas no solo, pois expressam a quantidade de carga retida na argila que são responsáveis pelo equilíbrio iônico entre a camada superficial adsortiva da matriz do solo e a solução do solo (CHRISTOFFOLETI *et al.*, 2008). Mediante a esses resultados podemos atribuir a alta taxa de fitointoxicação observada nas profundidades de solo estudadas para o bioindicador *C. sativus* com a associação das moléculas de pyroxasulfone e flumioxazin.

Tabela 4: Fitointoxicação de pepino (*C. sativus*) após aplicação do pyroxasulfone + flumioxazin aos 21 DAE em solo franco-arenoso.

Profundidade em colunas (cm)	Lâmina aplicada (mm)							
	0		30		60		90	
0 - 5	100,00	Aa	100,00	Aa	100,00	Aa	100,00	Aa
5 - 10	100,00	Aa	100,00	Aa	100,00	Aa	100,00	Aa
10 - 15	100,00	Aa	100,00	Aa	100,00	Aa	100,00	Aa
15 - 20	100,00	Aa	100,00	Aa	98,33	Aa	100,00	Aa
20 - 25	84,33	Bc	90,00	Bb	90,00	Bb	96,00	Ba

*Médias com mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott 5%. CV = 3,11%.

Na Tabela 5, são apresentados os valores médios de biomassa seca total, de *C. sativus*, aos 21 DAE, do tratamento de pyroxasulfone + flumioxazin. Observou-se um comportamento semelhante às variáveis já analisadas, apresentando acúmulo de biomassa seca total apenas na coluna de 20 a 25 cm, sendo que nas demais profundidades ocorreu o controle total das plantas bioindicadoras. Foi constatado redução da biomassa seca (mg) para as lâminas de irrigação de 30, 60 e 90 mm, diferindo estatisticamente para a lâmina de 0 mm, a qual apresentou o maior acúmulo de biomassa seca total, porém com fitointoxicação média de 84,33%.

Em estudo realizado por Inoue *et al.* (2007), analisando o potencial de lixiviação de imazapic e isoxaflutole em colunas de solo, com duas texturas distintas, observaram que a maior lixiviação dos herbicidas foi em solo arenoso, diferindo entre os herbicidas, sendo que no solo mais leve, a menor lâmina de água proporcionou maior lixiviação dos herbicidas. Esse fato pode explicar a diferença do acúmulo de biomassa seca ser maior na lâmina 0 mm de chuva, e não diferindo nas demais lâminas, apresentando o solo franco-arenoso maior potencial de lixiviação das moléculas em estudo, a partir da lâmina de 30 mm.

Tabela 5: Biomassa seca (mg) de pepino (*C. sativus*) após aplicação do pyroxasulfone + flumioxazin aos 21 DAE em solo franco-arenoso.

Profundidade em colunas (cm)	Lâmina aplicada (mm)							
	0		30		60		90	
0 – 5	0,00	Ba	0,00	Ba	0,00	Ba	0,00	Ba
5 – 10	0,00	Ba	0,00	Ba	0,00	Ba	0,00	Ba
10 – 15	0,00	Ba	0,00	Ba	0,00	Ba	0,00	Ba
15 – 20	0,00	Ba	0,00	Ba	0,00	Ba	0,00	Ba
20 – 25	162,60	Aa	126,60	Ab	129,60	Ab	116,60	Ab

*Médias com mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott 5%. CV = 15,40%.

Em relação ao pyroxasulfone isolado, o herbicida apresentou efeito significativo para os fatores isolados e para interação entre os eles, em relação à fitointoxicação aos 14 DAE. Os resultados desse estudo indicaram maior movimentação do pyroxasulfone nas colunas em profundidade, conforme aumentou a lâmina de precipitação, com exceção para a profundidade de 20 a 25 cm na lâmina de 0 e 30 mm.

Na Tabela 6, para as lâminas de 60 e 90 mm não ocorreu diferença significativa conforme aumentaram a profundidade da coluna de solo, porém na profundidade 15 a 20 cm observou-se uma maior fitointoxicação na lâmina de 90 mm.

Tabela 6: Fitointoxicação de pepino (*C. sativus*) após aplicação do pyroxasulfone aos 14 DAE em solo franco-arenoso.

Profundidade em colunas (cm)	Lâmina aplicada (mm)							
	0		30		60		90	
0 – 5	20,33	Ba	22,33	Ba	46,66	Aa	64,33	Aa
5 – 10	23,33	Ba	29,33	Ba	48,66	Aa	68,00	Aa
10 – 15	21,66	Bb	18,00	Bb	57,66	Aa	65,00	Aa
15 – 20	48,00	Bb	19,00	Bb	43,00	Ab	100,00	Aa
20 – 25	98,00	Aa	91,66	Aa	57,33	Aa	100,00	Aa

*Médias com mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott 5%. CV = 23,60%.

Para a variável germinação aos 14 DAE (Tabela 7), não foi observada diferença significativa entre as colunas e lâminas de 0 a 15 cm de profundidade. Na lâmina de 15 a 20 cm, não ocorreu diferença nas colunas com 0, 30 e 60 mm de chuva, diferindo-se apenas na coluna de 90 mm.

Na profundidade de 20 a 25 cm, os percentuais de germinação não diferiram estatisticamente entre as lâminas aplicadas, nas quais foram verificados valores menores, o que indica que o potencial de lixiviação do pyroxasulfone foi maior nas camadas mais profundas das amostras de solo analisadas, supondo que a cultura *C. sativus* é sensível ao herbicida. Tal fato pode ser explicado pela característica física do solo utilizado, apresentando baixa CTC e superfície de contato das partículas do solo, indicando a dinâmica do herbicida no perfil da coluna de solo.

Analisando a utilização de diferentes espécies bioindicadoras para monitoramento da mobilidade e persistência no solo de pyroxasulfone, o trabalho realizado por Matte *et al.* (2021) demonstrou a sensibilidade da cultura *C. sativus* para o herbicida pyroxasulfone, bem como o maior controle da bioindicadora aos 14 dias após a aplicação. Os autores também verificaram uma diminuição na biomassa e altura da espécie bioindicadora com uso de doses de pyroxasulfone abaixo de 100 g de i.a. ha⁻¹.

Tabela 7: Germinação (%) de pepino (*C. sativus*) após aplicação do pyroxasulfone aos 14 DAE em solo franco-arenoso.

Profundidade em colunas (cm)	Lâmina aplicada (mm)							
	0		30		60		90	
0 – 5	93,33	Ab	85,30	Aa	86,66	Aa	86,66	Aa
5 – 10	93,33	Aa	86,66	Aa	86,66	Aa	60,00	Aa
10 – 15	93,33	Aa	93,33	Aa	73,33	Aa	73,33	Aa
15 – 20	73,33	Aa	73,33	Aa	86,66	Aa	0,00	Bb
20 – 25	26,66	Ba	26,66	Ba	46,66	Ba	0,00	Bb

*Médias com mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott 5%. CV = 17,50%.

Na Tabela 8, observa-se que para variável altura de plantas houve um controle de 100% da espécie bioindicadora *C. sativus* em todas as lâminas aplicadas, para a

profundidade de 20 a 25 cm. Também houve controle total na lâmina de 90 mm para a profundidade de 15 a 20 cm, o que indica uma movimentação vertical do herbicida. Nos demais tratamentos foram observados uma variação de 5,83 a 10,58 cm para altura de plantas da espécie *C. sativus*. Em estudo realizado por Inoue *et al.* (2014), analisando o potencial de lixiviação de herbicidas na cana-de-açúcar em solos arenosos e argilosos, observaram que a maior lixiviação dos herbicidas ocorreu em texturas mais arenosas devido à baixa CTC e teores de matéria orgânica.

Tabela 8: Altura (cm) de pepino (*C. sativus*) após aplicação do pyroxasulfone aos 21 DAE em solo franco-arenoso.

Profundidade em colunas (cm)	Lâmina aplicada (mm)			
	0	30	60	90
0 - 5	8,53 Aa	9,33 Aa	7,93 Aa	7,33 Aa
5 - 10	10,58 Aa	8,67 Aa	7,61 Aa	6,40 Aa
10 - 15	8,63 Aa	8,11 Aa	6,83 Aa	5,83 Aa
15 - 20	6,12 Aa	6,66 Aa	7,04 Aa	0,00 Bb
20 - 25	0,00 Bb	0,00 Bb	0,00 Bb	0,00 Bb

*Médias com mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott 5%. CV = 9,55%.

Na Tabela 9, estão apresentados os resultados médios dos valores de biomassa seca total de *C. sativus* aos 21 DAE. O resultado dessa variável vem a corroborar com o resultado anterior, constatando uma movimentação vertical do herbicida até a camada de 15 a 20 cm de profundidade.

Westra *et al.* (2014), analisando a mobilidade e dissipação do pyroxasulfone em solo argiloso e arenoso, verificaram que o tempo de meia-vida do herbicida variou entre 47 e 134 dias em solo arenoso, indicando que o herbicida pyroxasulfone, mesmo tendo baixa solubilidade em água e alta adsorção aos coloides, teve um maior potencial de lixiviação em relação ao herbicida S-metolaclo.oro.

Tabela 9: Biomassa seca (mg) de pepino (*C. sativus*) após aplicação do pyroxasulfone aos 21 DAE em solo franco-arenoso.

Profundidade em colunas (cm)	Lâmina aplicada (mm)			
	0	30	60	90
0 – 5	0,121 Aa	0,110 Aa	0,130 Aa	0,110 Aa
5 – 10	0,137 Aa	0,080 Ab	0,121 Aa	0,052 Bb
10 – 15	0,135 Aa	0,093 Ab	0,150 Aa	0,120 Aa
15 – 20	0,120 Aa	0,083 Aa	0,107 Aa	0,000 Cb
20 – 25	0,000 Ba	0,000 Ba	0,000 Ba	0,000 Ca

*Médias com mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott 5%. CV = 19,28%.

CONCLUSÕES

O pyroxasulfone (100 g de i.a. ha⁻¹) e pyroxasulfone + flumioxazin (100 + 66,67 g de i.a. ha⁻¹) ocasionaram fitointoxicação no pepino (*C. sativus*), o qual demonstrou sensibilidade aos herbicidas testados.

Verificou-se que o aumento das lâminas de precipitação proporcionou maior movimentação vertical do pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin, os quais atingiram a profundidade de 20 – 25 cm. As lâminas de 90 mm resultaram em maior lixiviação dos herbicidas testados.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, G. B.; STAUT, L. A. Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro. In: Freire, E. C. (Editor). **Algodão no cerrado do Brasil**. 2. ed. Aparecida de Goiânia: Mundial Gráfica, 2011, p. 1082. ISBN 978-85-61960-04-9

CHRISTOFFOLETI, P. J. *et al.* **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Os autores, p. 85, 2008.

CORREIA, N. M. **Comportamento dos herbicidas no ambiente**. Embrapa Hortaliças. Brasília, DF, p. 30, 2018. ISSN 1415-2312

FAHAD, S. *et al.* Consequences of narrow crop row spacing and delayed *Echinochloa colona* and *Trianthema portulacastrum* emergence for weed growth and

crop yield loss in maize. **Weed Research**, v. 54. n. 5, p. 475-483, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/wre.12104>.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-12, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>

FERREIRA, E. A. *et al.* Manejo de plantas daninhas em cana crua. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 915-925, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000400025>

HECK, T. *et al.* A importância dos herbicidas residuais no controle da tiririca. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 65147-65163, 2020. DOI: [10.34117/bjdv6n9-084](https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-084).

INOUE, M. H. *et al.* Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados em solos contrastantes. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 3, p. 232-242, 2011. DOI: <https://doi.org/10.7824/rbh.v10i3.124>

INOUE, M. H. *et al.* Potencial de lixiviação de imazapic e isoxaflutole em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 547-555, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582007000300014>

MANGIN, A. R. *et al.* Influence of tillage on control of wind oat (*Avena fatua*) by the soil-applied herbicide pyroxasulfone. **Weed Science**, v. 65, n. 2, p. 266 -274, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1017/wsc.2016.22>

MARCHESE, L. **Sorção/dessorção e lixiviação do herbicida ametrina em solos canavieiros tratados com lodo de esgoto**. 2007. 81 f. Tese (Mestrado em Ciências) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MARCUSSI, S. A. **Seletividade e eficiência de Pyroxasulfone e Flumioxazin, em mistura e isolados, na cultura do milho e efeito Carryover na cultura do feijão**. 2020. 69 f. Tese (Mestrado em Agronomia: Proteção de Plantas) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp Câmpus de Botucatu, 2020.

MATTE, W. D. *et al.* Bioindicators selection to monitoring pyroxasulfone mobility and persistence in soil. **Journal of Research in Weed Science**, v. 4, n. 2, p. 142-150, 2021. DOI: [10.26655/JRWEEDSCI.2021.2.1](https://doi.org/10.26655/JRWEEDSCI.2021.2.1)

MELO, H. M. G. A. **Exploração do residual de Flumioxazina por meio de doses e associações a outros herbicidas em Pré-emergência na soja**. Tese (Mestrado) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, 2020.

MONQUERO, P. A. *et al.* Lixiviação de Clomazone + Ametryn, Diuron + Hexazinone e Isoxaflutole em Dois Tipos de Solo. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 685-691, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000300025>

MORAES, R. F. **Agrotóxicos no Brasil: Padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, Brasília, 2019. ISSN 1415-4765

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. Introdução ao controle químico. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo**, Guaíba: Agropecuária, p. 187-205, 2001.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. **Conceitos importantes no estudo do comportamento de herbicidas no solo**. Boletim informativo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, n. 2, p. 9-12, 2002.

PACHECO, L. C. P. S. **Atividade de herbicidas pré-emergentes em solos do cerrado, na presença e ausência de resíduos orgânicos**. 2017. 99 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

PRATA, F. *et al.* Degradação e sorção de ametrina em dois solos com aplicação de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 7, p. 975-981, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000700007>

PRESOTO, J. C. **Interação e eficácia de flumioxazin e pyroxasulfone e influência do período de seca após aplicação em ambiente de cana-de-açúcar**. 2020. 63 p. Tese (Mestrado em Ciências: Fitotecnia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2020.

SALOMÃO, P. E. A. *et al.* Herbicidas no Brasil: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, e32921990, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i2.1990>

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed., revista e ampliada, Brasília, DF: Embrapa, p. 356, 2018. ISBN 978-85-7035-800-4

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

WESTRA, E. P. *et al.* Dissipation and Leaching of Pyroxasulfone and S-Metolachlor. **Weed Technology**, v. 28, n. 1, p. 72-81, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-D-13-00047.1>

EFEITO RESIDUAL DE PYROXASULFONE E PYROXASULFONE + FLUMIOXAZIN EM SOLOS CONTRASTANTES

RESUMO: O efeito residual do herbicida está relacionado ao seu comportamento no solo. As moléculas de maior persistência no solo podem apresentar potencial para prejudicar culturas sensíveis, devido à sua atividade residual ser mais longa que o intervalo entre os cultivos. O pyroxasulfone é uma molécula recentemente registrada no Brasil e apresenta eficácia no controle de plantas daninhas devido à sua persistência no ambiente. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito residual de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin em diferentes texturas de solos. Foram realizados quatro experimentos em dois tipos de solos (Latosolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico). Para cada experimento, foi utilizado 1 solo e 1 produto, no delineamento em blocos casualizados, esquema fatorial 2x7, sendo duas doses de pyroxasulfone (100 e 200 g i.a. ha⁻¹) ou de pyroxasulfone + flumioxazin (100 + 66,67 e 200 + 133,33 g i.a. ha⁻¹), sete épocas de aplicação (0, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias entre a aplicação dos herbicidas (DAA) e a semeadura do bioindicador), uma testemunha sem aplicação e quatro repetições. A semeadura dos bioindicador pepino foi realizada ao 0 DAA. A fitointoxicação foi avaliada aos 7 e 14 dias após a semeadura, enquanto a altura de plantas, comprimento de raiz e biomassa seca total foram avaliados 21 dias após a semeadura. Os dados foram transformados para porcentagem em relação à testemunha sem aplicação e submetidos à análise fatorial e ajuste de regressão. O pyroxasulfone + flumioxazin aplicado em solo argiloso proporcionou a morte de 100% das plantas até aos 45 DAA em ambas as doses e, quando aplicado em solo franco-arenoso provocou a morte de 100% das plantas até aos 30 DAA e 45 DAA, quando aplicado as doses de 100 + 66,67 e 200 + 133,33 g i.a. ha⁻¹, respectivamente. O pyroxasulfone isolado, em ambos os solos, proporcionou a morte de 100% das plantas até 30 DAA, quando aplicado as doses de 100 g i.a. ha⁻¹ e 200 g i.a. ha⁻¹, respectivamente. Os efeitos provocados no pepino foram reduzindo conforme aumentaram as épocas de aplicação, no entanto, foram observados danos significativos no bioindicador ainda na última época de aplicação. O solo argiloso proporcionou maior efeito residual, quando comparado com o solo franco-arenoso. As maiores doses de ambos os herbicidas promoveram maiores efeitos em todas as épocas avaliadas. O efeito residual foi mais expressivo quando aplicado pyroxasulfone + flumioxazin, em ambos os solos e doses. O pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin apresentaram efeito residual superior a 90 DAA em solo de textura argilosa e franco-arenosa.

Palavras-chave: persistência; ambiente; textura; bioindicador.

ABSTRACT: The residual effect of the herbicide is related to its behavior in the soil. Molecules with greater persistence in the soil may have the potential to harm sensitive crops, due to their residual activity being longer than the interval between crops. Pyroxasulfone is a molecule recently registered in Brazil and it is effective in controlling weeds due to its persistence in the environment. This work aimed to evaluate the residual effect of pyroxasulfone and pyroxasulfone + flumioxazin on different soil textures. Four experiments were carried out in two types of soils (Red Latosol and Quartzarenic Neosol). For each experiment, 1 soil and 1 product was used, in a

randomized block design, factorial 2x7, with two doses of pyroxasulfone (100 and 200 g i.a. ha⁻¹) or pyroxasulfone + flumioxazin (100 + 66.67 and 200 + 133.33 g ai ha⁻¹), seven application times (0, 15, 30, 45, 60, 75 and 90 days between herbicide application (DAA) and bioindicator sowing), a control without application and four repetitions. Sowing of the cucumber bioindicator was carried out at 0 DAA. Phytointoxication was evaluated at 7 and 14 days after sowing, while plant height, root length and total dry biomass were evaluated 21 days after sowing. Data were transformed into percentage in relation to the control without application and submitted to factor analysis and regression adjustment. Pyroxasulfone + flumioxazin applied in clayey soil caused the death of 100% of the plants up to 45 DAA in both doses and, when applied in sandy loam soil, it caused the death of 100% of the plants up to 30 DAA and 45 DAA, when it was applied the doses of 100 + 66.67 and 200 + 133.33 g i.a. ha⁻¹, respectively. The isolated pyroxasulfone, in both soils, caused the death of 100% of the plants up to 30 DAA, when applied at doses of 100 g i.a. ha⁻¹ and 200 g i.a. ha⁻¹, respectively. The effects caused on the cucumber were reduced as the application times increased, however, significant damage to the bioindicator was observed even in the last application time. The clayey soil provided a greater residual effect when it is compared with the sandy loam soil. The highest doses of both herbicides promoted greater effects in all evaluated periods. The residual effect was more expressive when pyroxasulfone + flumioxazin was applied, in both soils and doses. Pyroxasulfone and pyroxasulfone + flumioxazin showed a residual effect greater than 90 DAA in clayey and sandy loam soils.

Keywords: persistence; environment; texture; bioindicator.

INTRODUÇÃO

O efeito residual do herbicida é o tempo em que ele permanece ativo no solo após sua aplicação. Esse período de atividade está relacionado ao seu comportamento no solo, sendo que sua persistência no ambiente depende diretamente de características físico-químicas da molécula, das propriedades inerentes ao solo e das condições climáticas (MONQUERO; SILVA, 2021).

Os herbicidas com maior persistência no solo podem apresentar potencial para prejudicar culturas sensíveis, devido à sua atividade residual ser mais longa que o intervalo entre os cultivos (SILVA *et al.*, 2014). O potencial de um herbicida para permanecer ativo no solo por um longo período, contendo concentrações herbicidas suficientes para provocar injúrias nas culturas subsequentes, é denominado *carryover*, o qual varia em função do herbicida e da dose utilizada, do tipo de solo, do clima, da época de aplicação e da espécie cultivada em sucessão (ALONSO; OLIVEIRA JR.; CONSTANTIN, 2013).

Devido à persistência no ambiente por um longo período, os herbicidas residuais podem ser eficientes no manejo integrado de plantas daninhas, por meio da supressão da emergência das plantas daninhas no início do desenvolvimento, limitando a interferência e competição com a cultura de interesse agrônômico (NUNES *et al.*, 2018).

O pyroxasulfone é um herbicida residual que apresenta eficácia no controle de plantas daninhas devido à sua persistência no ambiente (YAMAJI *et al.*, 2014). O herbicida age no controle de gramíneas e folhas largas originadas de sementes pequenas (MATTE *et al.*, 2021). O tempo de meia-vida desse herbicida pode variar de 33 a 89 dias (WESTRA *et al.* 2015) ou de 8 a 71 dias (MUELLER; STECKEL, 2011), dependendo das condições edafoclimáticas.

Devido ao fato da persistência do pyroxasulfone no ambiente depender das condições edafoclimáticas, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito residual de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin em diferentes texturas de solos, na região de Tangará da Serra.

MATERIAL E MÉTODOS

Quatro experimentos foram realizados simultaneamente em casa de vegetação com amostras de dois solos com texturas distintas, sendo o solo de textura argilosa classificado como Latossolo Vermelho, coletado no município de Tangará da Serra, MT (latitude 14° 38' 48" S e longitude 57° 26' 25" O e altitude 434 metros) e o solo franco-arenoso classificado como Neossolo Quartzarênico, proveniente do município de Barra do Bugres, MT (latitude 15° 11' 38" S e longitude 57° 20' 43" O e altitude 186 metros).

As amostras de solo foram coletadas a uma profundidade de 0 - 10 cm, peneiradas para remoção dos resíduos presentes na superfície e acondicionadas em vasos de polietileno com capacidade de 500 cm³. As características físico-químicas dos solos utilizados estão descritas na Tabela 10.

Tabela 10: Características físico-químicas das amostras de solos utilizadas nos experimentos.

Solo	pH		Al^{3+}	$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$	$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	Ca^{2+}	K^+
	CaCl_2	H_2O					
LV ¹	4,30	5,00	0,44	5,25	1,07	0,71	0,26
NQ ²	4,50	5,40	0,06	1,25	0,87	0,53	0,04
P	M.O.		CTC	V	Areia	Silte	Argila
mg dm ⁻³	g dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³	%	g kg ⁻¹		
1,50	23,50		6,58	20,21	130,00	154,50	715,50
1,36	5,19		2,16	42,13	753,50	57,50	189,00

¹LV = Latossolo Vermelho (textura argilosa); ²NQ = Neossolo Quartzarênico (textura franco-arenosa). Fonte: Laboratório Plante Certo, Várzea Grande, MT.

Em cada experimento foi utilizado um tipo de solo, um herbicida (pyroxasulfone ou a associação de pyroxasulfone + flumioxazin), sete épocas de aplicação e um tratamento controle, sem aplicação de herbicida. As aplicações foram realizadas com pulverizador costal a base de CO₂, dotado com barra de seis pontas XR-110.02, espaçadas entre si a 0,50 m, com volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹.

Adotou-se o esquema fatorial 2 x 7 no delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições. O primeiro fator consistiu nas doses de pyroxasulfone (100; 200 g i.a. ha⁻¹) ou de pyroxasulfone + flumioxazin (100 + 66,67; 200 + 133,33 g i.a. ha⁻¹). O segundo fator consistiu nas épocas de aplicação, as quais corresponderam a 0, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias entre a aplicação do herbicida (DAA) e a semeadura do bioindicador *Cucumis sativus* (pepino).

Após efetuadas todas as aplicações de pyroxasulfone ou da associação de pyroxasulfone + flumioxazin, foi realizada a semeadura do bioindicador, de forma manual, na última época da aplicação dos herbicidas, utilizando dez sementes para cada vaso. Após a semeadura, os vasos foram irrigados com lâmina de 10 mm diários.

Aos 7 e 14 dias após a aplicação (DAA), por meio da escala visual, avaliou-se a porcentagem de injúria da espécie utilizada, em que 0% corresponde à ausência de injúrias e 100% à morte das plantas, de acordo com a escala de fitointoxicação proposta pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD, 1995). Aos 21 dias, foi avaliada a altura das plantas e o comprimento de raiz, amostrando-se seis plantas por unidade experimental. As plantas amostradas foram coletadas,

identificadas e acondicionadas para secagem em uma estufa de circulação forçada de ar, em temperatura de 60°C, até atingirem massa constante, para quantificação da biomassa seca total (parte aérea + raiz).

Os dados obtidos foram transformados para porcentagem em relação à testemunha sem aplicação, submetidos à análise de variância e as médias foram ajustadas com equações de regressão pelo teste F ($p < 0,01$ e $0,05$), com auxílio do programa SISVAR (FERREIRA, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar a variável injúria aos 7 DAA (Figura 5), verificou-se que a interação entre as doses (pyroxasulfone (100 e 200 g i.a. ha⁻¹) e pyroxasulfone + flumioxazin (100 + 66,67 e 200 + 133,33 g i.a. ha⁻¹)), e as épocas de aplicação apresentaram significância. Os maiores níveis de injúria nas plantas de pepino foram observados em Latossolo Vermelho, quando aplicado a associação pyroxasulfone + flumioxazin, na maior dose (200 + 133,33 g i.a. ha⁻¹) na época correspondente a 0 DAA, proporcionando percentual de injúria superior a 98%. (Figura 5B).

Jaremtchuk *et al.* (2009) verificaram variação na atividade residual do herbicida flumioxazin em relação à textura do solo, do período entre aplicação e semeadura e da dosagem utilizada. Nele foi detectado, nesta pesquisa, que ao utilizar o pyroxasulfone em mistura com o flumioxazin, os quais proporcionaram maior efeito residual quando aplicados em solo de textura argilosa, devido à retenção das moléculas herbicidas aos colóides do solo.

A associação dos herbicidas pyroxasulfone + flumioxazin é uma alternativa eficaz para manejo de resistência de plantas daninhas à herbicidas, por ser uma nova mistura com dois mecanismos de ação diferentes (MARCUSSE, 2020). O que justifica o fato de os maiores efeitos terem sido observados quando aplicado os herbicidas associados pyroxasulfone + flumioxazin.

Observa-se na Figura 5 que em ambos os solos, conforme aumentaram-se os dias entre a aplicação dos herbicidas e a semeadura do bioindicador pepino, houve uma redução gradativa dos níveis de injúria, sendo as menores doses responsáveis pelos menores níveis de injúrias.

Para as épocas de 0 e 15 DAA, os níveis de injúria (7 DAA) permaneceram acima de 91% em ambos os solos, herbicidas e doses testadas, com exceção do

experimento realizado em Neossolo Quartzarênico, quando aplicado o herbicida pyroxasulfone na dose de 100 g i.a. ha⁻¹, no qual o nível de injúria foi equivalente a 89,75% (Figura 5C). Ao analisar a época de 90 DAA, o percentual de injúria se manteve acima de 5% em todos os experimentos, sendo verificado o menor nível de injúria (5,25%) quando aplicado o herbicida pyroxasulfone na menor dose testada (100 g i.a. ha⁻¹), em Neossolo Quartzarênico (Figura 5C). Evidenciando que solos de texturas mais leves tendem a reter menos moléculas herbicidas, consequentemente, proporcionam menores danos ao bioindicador.

Matte *et al.* (2021) verificaram que ao aplicar diferentes herbicidas em solo de textura média, visando o controle de capim-amargoso, os maiores níveis de controle aos 7 DAA foram promovidos com a aplicação de pyroxasulfone (100 g i.a. ha⁻¹) (91,2%).

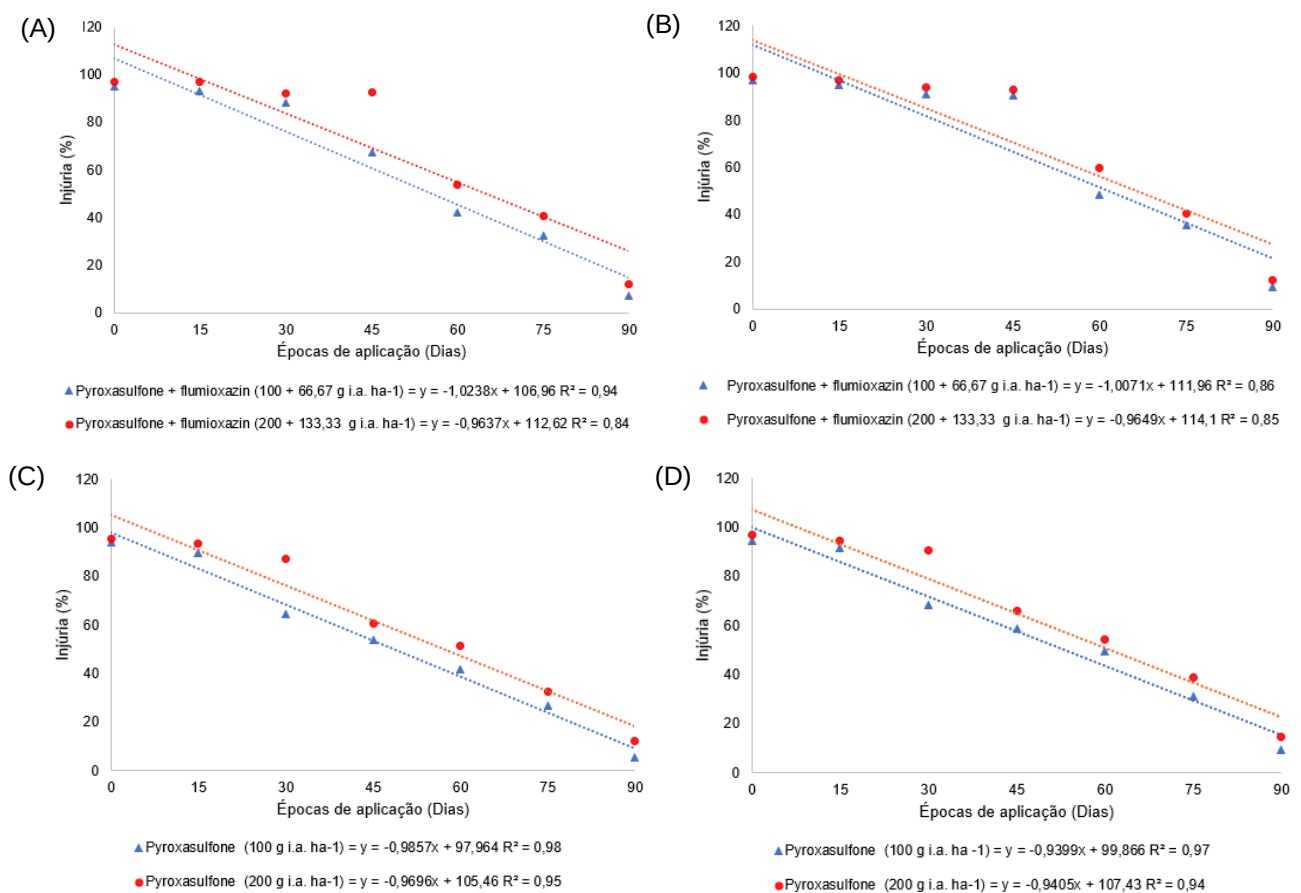


Figura 5. Injúria (%) das plantas de pepino (*Cucumis sativus*) aos 7 dias após a aplicação de pyroxasulfone + flumioxazin em pré-emergência em solo franco-arenoso (A), pyroxasulfone + flumioxazin em pré-emergência em solo argiloso (B),

pyroxasulfone em pré-emergência em solo franco-arenoso (C) e pyroxasulfone em pré-emergência em solo argiloso (D).

Em relação ao percentual de injúria aos 14 DAA (Figura 6), observou-se significância para as interações entre as diferentes doses e épocas de aplicação. Os níveis mais expressivos de injúria foram verificados em Latossolo Vermelho, quando aplicado o pyroxasulfone + flumioxazin, na maior dose ($200 + 133,33 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), promovendo percentual de injúria superior a 18% ainda aos 90 DAA (Figura 6B).

Em ambos os solos, aos 14 DAA, o aumento das dosagens causou incremento nos níveis de injúrias. No entanto, conforme aumentaram-se os dias entre a aplicação dos herbicidas e a semeadura do pepino, verificou-se uma redução do percentual de injúria (Figura 6).

Presoto *et al.* (2022) afirmam que o aumento das doses do herbicida flumioxazin (0, 50, 100 e 200 g ha^{-1}) contribuiu para o aumento do controle do capim-guiné, o qual se manteve acima de 80% em todas as doses, aos 35 DAA. Porém, a dose de 200 g ha^{-1} foi a única a promover controle superior a 97,5%. Os mesmos autores constataram que, em todas as doses do pyroxasulfone isolado (0, 50, 100 e 200 g ha^{-1}), o controle se manteve acima dos 90%. Tais resultados corroboram com os encontrados no presente estudo, cujas maiores doses aplicadas proporcionaram maiores danos ao bioindicador pepino.

Para o experimento realizado em Latossolo Vermelho, com aplicação de pyroxasulfone + flumioxazin, verificou-se que níveis de injúria equivalente a 100%, devido à morte das plantas, para as épocas de 0, 15, 30 e 45 DAA, em ambas as doses utilizadas (Figura 6B). A mesma ocorrência foi observada quando aplicado pyroxasulfone + flumioxazin em Neossolo Quartzarênico, na maior dose ($200 + 133,33 \text{ g i.a. ha}^{-1}$); no entanto, quando aplicada a dose de $100 + 66,67 \text{ g i.a. ha}^{-1}$, o nível de injúria aos 45 DAA foi equivalente a 84,50% (Figura 6A).

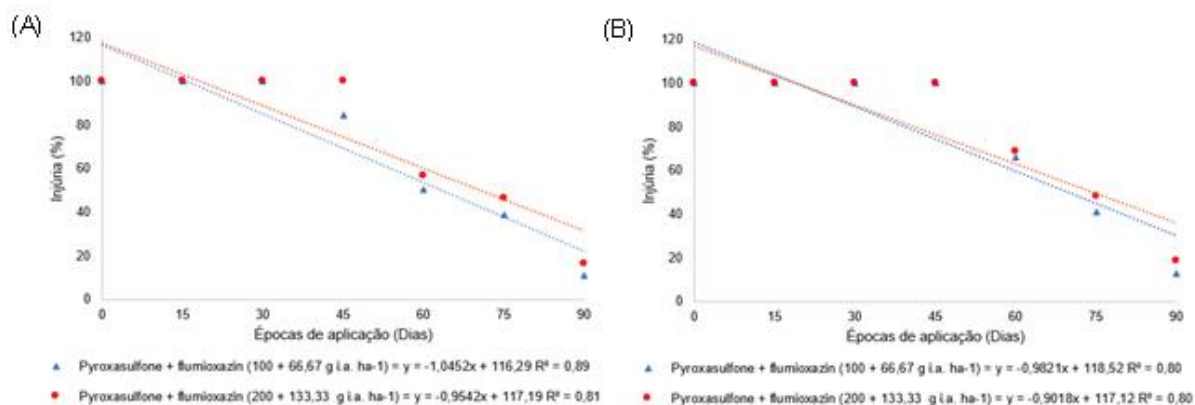
Corroborando com os resultados encontrados em solo argiloso, Ferreira e Oliveira (2020) constataram a eficiência de herbicidas no controle residual de plantas daninhas, em Latossolo Vermelho, de textura argilosa. Os pesquisadores verificaram que, aos 45 DAA, houve 100% de controle das plantas daninhas na linha de cultivo, quando utilizado os herbicidas isoxaflutole (150 g ha^{-1}) + flumioxazin (125 g ha^{-1}).

Coradin *et al.* (2019) avaliaram o controle da emergência do capim-amargoso, em solo de textura argilosa, após a aplicação de herbicidas, dentre eles, o flumioxazin

isolado e associado ao imazethapyr. Aos 14 DAA, flumioxazin (60 g ha^{-1}) e imazethapyr (106 g ha^{-1}) + flumioxazin (50 g ha^{-1}) não se diferiam entre si, proporcionando níveis de controle de 94,8 e 92,5%, respectivamente. Enquanto aos 28 DAA, as aplicações de flumioxazin e Imazethapyr + flumioxazin, apresentaram percentual de controle maior que 96% sobre a emergência do capim-amargoso.

Ao aplicar pyroxasulfone na dose de $200 \text{ g i.a. ha}^{-1}$, verificou-se níveis de injúria equivalente a 100% para as épocas de 0,15 e 30 DAA, em ambos os solos (Figuras 6C e 6D). Em contrapartida, ao aplicar a dose de $100 \text{ g i.a. ha}^{-1}$, observou-se injúria de 100% aos 0 e 15 DAA, para ambos os solos, no entanto, aos 30 DAA o percentual de injúria foi equivalente a 75,50% em Neossolo Quartzarênico e 81,75% em Latossolo Vermelho. O pyroxasulfone quando aplicado em Neossolo Quartzarênico, na dose de $100 \text{ g i.a. ha}^{-1}$, proporcionou o menor nível de injúria aos 90 DAA (9,25%) (Figura 6C).

O período de atividade do pyroxasulfone no solo depende de fatores como o conteúdo de matéria orgânica e os minerais do solo, os quais estão diretamente relacionados à sorção das partículas ao solo (TAKESHITA *et al.*, 2019). Desse modo, o conteúdo de matéria orgânica aumenta sua retenção aos colóides do solo, reduzindo a lixiviação da molécula e prolongando sua permanência no ambiente (WESTRA *et al.*, 2014). Estudos realizados por Novais *et al.* (2022) apontam que o pyroxasulfone aplicado em solo franco-arenoso proporcionou maior potencial de lixiviação, quando comparado ao solo de textura argilosa. Corroborando com tais resultados, no presente trabalho é possível observar que o pyroxasulfone promoveu menores danos ao bioindicador quando aplicado em solo de textura mais leve (franco-arenosa).



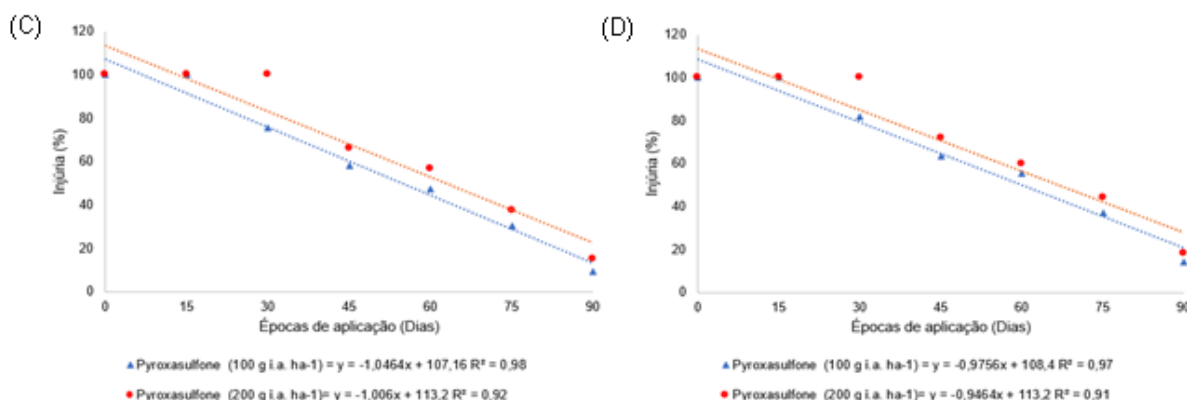


Figura 6. Injúria (%) das plantas de pepino (*Cucumis sativus*) aos 14 dias após a aplicação de pyroxasulfone + flumioxazin em pré-emergência em solo franco-arenoso (A), pyroxasulfone + flumioxazin em pré-emergência em solo argiloso (B), pyroxasulfone em pré-emergência em solo franco-arenoso (C) e pyroxasulfone em pré-emergência em solo argiloso (D).

O efeito residual na altura de plantas variou em função das doses e épocas de aplicação. Foi identificado o maior percentual de altura quando aplicado pyroxasulfone (100 g i.a. ha⁻¹) em Neossolo Quartzarênico, promovendo valor de 92,31% (Figura 7). Tal fato evidencia que o herbicida aplicado em solo de textura franco-arenosa promoveu menores danos ao bioindicador.

Os dados de altura analisados no experimento realizado em Latossolo Vermelho, com aplicação de pyroxasulfone + flumioxazin, foram equivalentes a 0%, devido à morte das plantas, para as épocas de 0, 15, 30 e 45 DAA, em ambas as doses utilizadas (Figura 7B). A mesma situação ocorreu quando aplicado pyroxasulfone + flumioxazin em Neossolo Quartzarênico, na maior dose (200 + 133,33 g i.a. ha⁻¹) (Figura 7A); no entanto, quando aplicado a dose de 100 + 66,67 g i.a. ha⁻¹, o percentual de altura aos 45 DAA foi equivalente a 36,67%. Quando analisada a última época de aplicação (90 DAA), o mesmo herbicida aplicado em Latossolo Vermelho, na dose de 200 + 133,33 g i.a. ha⁻¹, proporcionou o menor percentual de altura para o bioindicador pepino (50,83%) (Figura 7B). Tais resultados evidenciaram a ação conjunta do pyroxasulfone associado ao flumioxazin foi superior ao pyroxasulfone isolado, provocando maiores danos ao bioindicador pepino.

Carvalho (2017) avaliou o efeito residual do flumioxazin em mistura com outros herbicidas, em solo de textura argilosa, aos 60 dias após a semeadura do milho. Foi

constatado que os tratamentos flumioxazin + glyphosate (100, 120 e 150 g + 1,5 L p. c. ha⁻¹), flumioxazin + paraquat (120 g + 2,0 L p. c. ha⁻¹) e flumioxazin + atrazin (100 g e 120 g + 2,5 L p.c. ha⁻¹) foram eficientes no controle residual de *A. tenella*, *I. nil*, *C. benghalensis* e *P. maximum*. Corroborando com os resultados verificados no presente trabalho, visto que o flumioxazin associado ao pyroxasulfone promoveu um efeito residual mais longo.

Quando aplicada a maior dose de pyroxasulfone (200 g i.a. ha⁻¹), o percentual de altura correspondeu a 0% para as épocas de 0,15 e 30 DAA, em ambos os solos (Figuras 7C e 7D). No entanto, ao aplicar a menor dose (100 g i.a. ha⁻¹), verificou-se altura de 0% aos 0 e 15 DAA, para ambos os solos, porém, aos 30 DAA o percentual de altura foi equivalente a 35,77% em Neossolo Quartzarênico e 36,94% em Latossolo Vermelho. Ao aplicar o pyroxasulfone, observou-se o maior percentual de altura aos 90 DAA, em ambos os solos e doses utilizadas, os quais permanecem com níveis superiores a 87% (Figuras 7C e 7D).

O solo de textura argilosa proporciona maior adsorção do herbicida aos colóides do solo, havendo maior persistência da molécula por períodos superiores em solos de textura argilosa do que quando aplicado em solo de textura arenosa (CORADIN, *et al.*, 2019). O que justifica o fato de os menores percentuais de altura terem sido constatados quando aplicado os herbicidas em solo de textura argilosa.

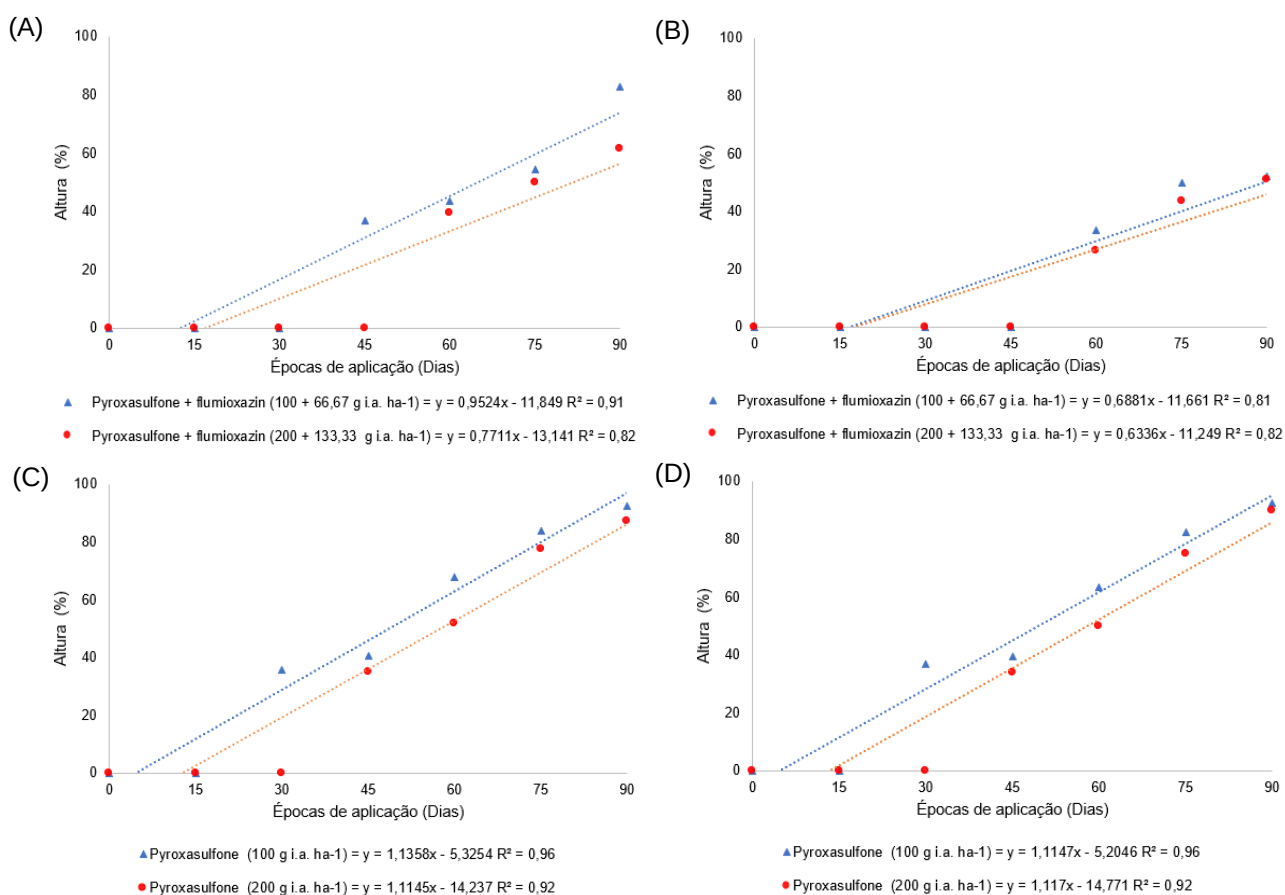


Figura 7. Altura (%) das plantas de pepino (*Cucumis sativus*) aos 21 dias após a aplicação de pyroxasulfone + flumioxazin em pré-emergência em solo franco-arenoso (A), pyroxasulfone + flumioxazin em pré-emergência em solo argiloso (B), pyroxasulfone em pré-emergência em solo franco-arenoso (C) e pyroxasulfone em pré-emergência em solo argiloso (D).

Ao avaliar a variável comprimento de raiz, observou-se que a interação entre as doses e as épocas de aplicação apresentaram significância (Figura 8). Os maiores percentuais de comprimento de raiz foram observados aos 90 DAA, quando aplicado o herbicida pyroxasulfone, na menor dose ($100 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), proporcionando comprimento de raiz de 95,96% e 90,71%, ao aplicar em Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho, respectivamente (Figuras 8C e 8D). Tal fato denota que o pyroxasulfone aplicado em solo franco-arenoso, em doses mais baixas, ainda apresenta residual, no entanto, proporciona menores danos a plantas sensíveis, como é o caso do pepino.

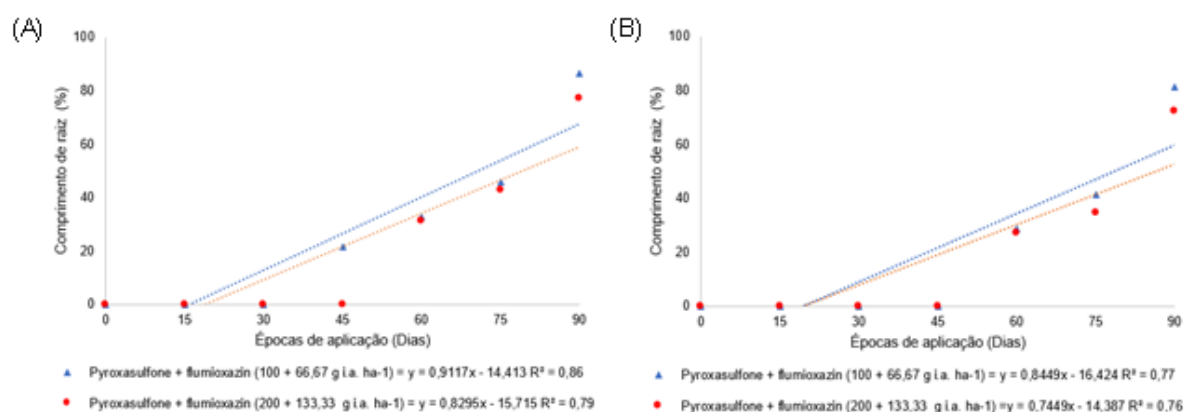
O aumento do comprimento de raiz foi proporcional ao aumento do período após a aplicação dos herbicidas, em ambos os solos e doses. No entanto, esses efeitos foram mais expressivos quando aplicado as menores doses dos herbicidas (Figura 8). Em contrapartida, Marcussi (2020) avaliou o efeito residual dos herbicidas flumioxazin e pyroxasulfone, em solo de textura arenosa, na cultura do feijão. Foi exposto que para comprimento de raiz houve diferença somente aos 15 DAA entre a maior dose de flumioxazin ($100 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) e pyroxasulfone ($60 \text{ g i.a. ha}^{-1}$); todavia na avaliação de 30 DAA essa diferença não foi observada.

Os resultados de comprimento de raiz observados no experimento realizado em Latossolo Vermelho, com aplicação de pyroxasulfone + flumioxazin, para as épocas de 0, 15, 30 e 45 DAA, em ambas as doses utilizadas, foram equivalentes a 0%, devido à morte das plantas (Figura 8B). A mesma situação foi constatada quando aplicado pyroxasulfone + flumioxazin em Neossolo Quartzarênico, na maior dose ($200 + 133,33 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) (Figura 8A), porém, quando aplicado a dose de $100 + 66,67 \text{ g i.a. ha}^{-1}$, o percentual de comprimento de raiz aos 45 DAA foi equivalente a 21,61%. Ao avaliar a última época de aplicação (90 DAA), observa-se que o mesmo herbicida aplicado em Latossolo Vermelho, na dose de $200 + 133,33 \text{ g i.a. ha}^{-1}$, proporcionou o menor resultado de comprimento de raiz, com percentual de 72,14% (Figura 8A).

Jaremtchuk *et al.* (2009) compararam a atividade residual do flumioxazin em diferentes texturas de solos. Os autores perceberam que, em solo argiloso, pequenas diferenças de controle das plantas daninhas em relação as doses utilizadas, enquanto em solo arenoso, a utilização de 25 g ha^{-1} de flumioxazin promoveu controle da maioria das espécies. Corroborando com os resultados do presente trabalho, no qual o pyroxasulfone + flumioxazin aplicados em solo franco-arenoso apresentaram diferença na atividade de acordo com a dose aplicada, enquanto em solo argiloso, não houve diferença entre as doses.

Morota *et al.* (2018) verificaram que ao utilizar a associação de glyphosate (1440 g ha^{-1} em pré-semeadura + 720 g ha^{-1} em pós-emergência), pyroxasulfone (100 g ha^{-1} em pré-semeadura) e flumioxazin (60 g ha^{-1} na pré-semeadura) proporcionaram 100% de controle para *Eleusine indica* (capim-pé-de-galinha) e 91% para *Digitaria insularis* (capim-amargoso) aos 45 dias após a semeadura, demonstrando eficiência no controle de plantas daninhas na cultura da soja.

A maior dose de pyroxasulfone ($200 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) proporcionou a morte das plantas bioindicadores, resultando em um percentual de comprimento de raiz equivalente a 0% para as épocas de 0,15 e 30 DAA, em ambos os solos (Figuras 8C e 8D). No entanto, ao aplicar a menor dose ($100 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), manifestou-se comprimento de raiz de 0% aos 0 e 15 DAA, para ambos os solos, porém, aos 30 DAA o percentual de comprimento de raiz foi equivalente a 17,23% em Neossolo Quartzarênico (Figura 8D) e 17,68% em Latossolo Vermelho (Figura 8D). De maneira geral, o pyroxasulfone isolado, proporcionou o maior comprimento de raiz aos 90 DAA, em ambos os solos e doses utilizadas, os quais permanecem com níveis superiores a 76%. Tais resultados evidenciam que a mistura do pyroxasulfone com o flumioxazin proporciona maior efeito residual.



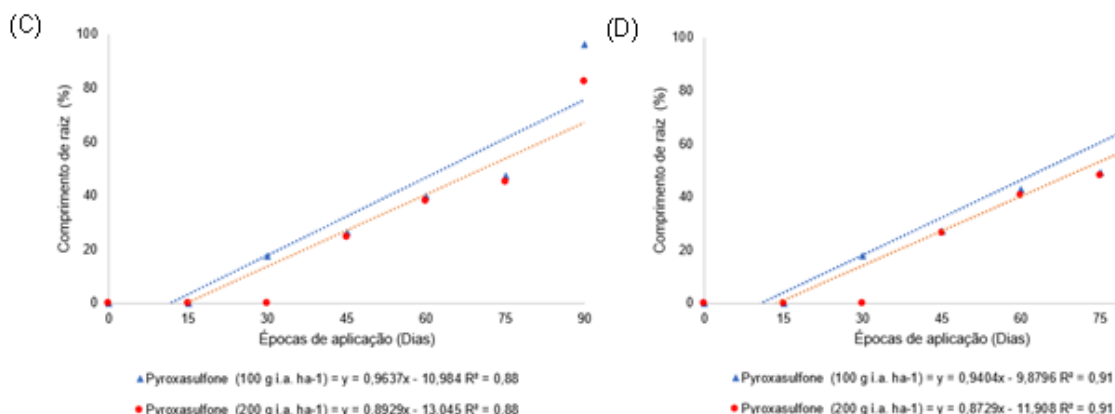


Figura 8. Comprimento de raiz (%) das plantas de pepino (*Cucumis sativus*) aos 21 dias após a aplicação de pyroxasulfone + flumioxazin em pré-emergência em solo franco-arenoso (A), pyroxasulfone + flumioxazin em pré-emergência em solo argiloso (B), pyroxasulfone em pré-emergência em solo franco-arenoso (C) e pyroxasulfone em pré-emergência em solo argiloso (D).

Para o percentual de biomassa de massa seca total (Figura 9), a interação entre as doses e as épocas de aplicação apresentaram significância, constatando-se que os maiores valores de biomassa seca total foram verificados quando aplicado o pyroxasulfone isolado em Neossolo Quartzarênico, promovendo os valores de 97,99% e 88,22% para as doses de 100 e 200 g i.a. ha⁻¹, respectivamente (Figura 9C).

De modo geral, o aumento da biomassa seca total foi proporcional ao aumento do período após a aplicação dos herbicidas, em ambos os solos e doses. No entanto, esses efeitos foram mais expressivos quando aplicado o herbicida pyroxasulfone isolado (Figuras 9C e 9D). Esses dados reforçam que o pyroxasulfone isolado promoveu menores danos ao pepino, principalmente quando aplicado em solo de textura franco-arenosa, resultando em maiores percentuais de biomassa seca total do pepino.

Aferiu-se que os percentuais de biomassa seca total, aos 0,15, 30 e 45 DAA, em Latossolo Vermelho, após a aplicação de ambas as doses de pyroxasulfone + flumioxazin, foram equivalentes a 0%, devido a morte das plantas analisadas (Figura 9B). O mesmo foi observado quando aplicado pyroxasulfone + flumioxazin em Neossolo Quartzarênico, na maior dose (200 + 133,33 g i.a. ha⁻¹) (Figura 9A), porém, quando aplicado a dose de 100 + 66,67 g i.a. ha⁻¹, o percentual de biomassa seca total aos 45 DAA foi equivalente a 21,01%. Para a última época de aplicação (90 DAA), observa-se que o pyroxasulfone + flumioxazin aplicado em Latossolo Vermelho,

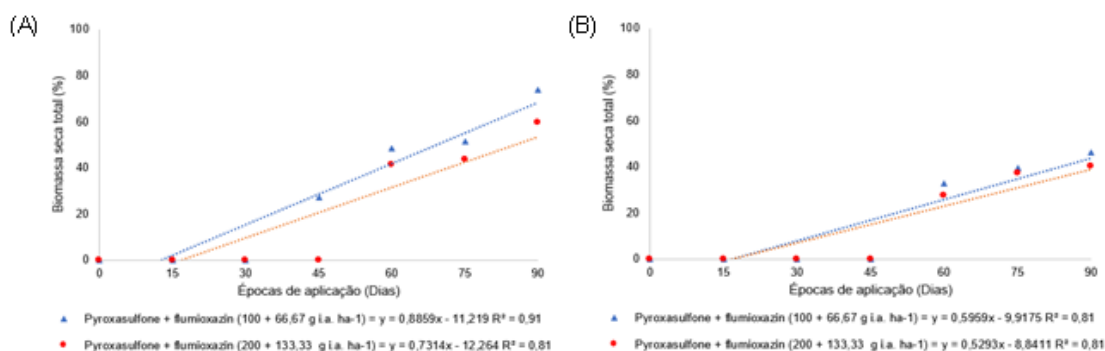
proporcionou os menores resultados de biomassa seca total, com percentuais de 46,24% e 40,05%, quando aplicadas as doses de 100 + 66,67 g i.a. ha⁻¹ e 200 + 133,33 g i.a. ha⁻¹, respectivamente (Figura 9B).

Gonçalves *et al.* (2018) dissertaram que aos 90 dias após a semeadura do milho, em solo de textura argilosa, o índice SPAD das folhas foi reduzido em média em 14,7% pelo herbicida flumioxazin, sendo que a produtividade do milho, foi reduzida em 35%. Tal resultado corrobora com os encontrados no presente trabalho, reforçando que o herbicida flumioxazin é altamente persistente no solo e necessita de um intervalo de segurança superior a 90 dias para o cultivo de espécies sensíveis em sucessão.

Ao aplicar a maior dose de pyroxasulfone (200 g i.a. ha⁻¹), percebeu-se a morte das plantas bioindicadores, resultando em um percentual de biomassa seca total equivalente a 0% para as épocas de 0,15 e 30 DAA, em ambos os solos (Figuras 9C e 9D). Em contrapartida, ao aplicar a menor dose (100 g i.a. ha⁻¹), observou-se biomassa seca total de 0% aos 0 e 15 DAA, para ambos os solos, porém, aos 30 DAA o percentual de biomassa seca total foi equivalente a 36,20% em Neossolo Quartzarênico (Figura 9C) e 24,46% em Latossolo Vermelho (Figura 9D).

O herbicida pyroxasulfone é um graminicida com espectro de ação sobre algumas dicotiledôneas, fato que pode ser observado no trabalho de Presoto (2022), em todas as doses isoladas de pyroxasulfone (0, 50, 100 e 200 g ha⁻¹), proporcionaram o controle do capim-guiné acima de 90%, aos 35 DAA.

Marcussi (2020) afirma que os tratamentos de flumioxazin e pyroxasulfone isolados e em associação não ocasionaram efeito *carryover* na cultura do feijão e não afetaram a produtividade da cultura, apresentando segurança ao cultivo do feijão após 150 dias de sua aplicação. Esses resultados corroboram com os encontrados no presente estudo, visto que os herbicidas pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin são persistentes nos solos, apresentando residual superior a 90 dias.



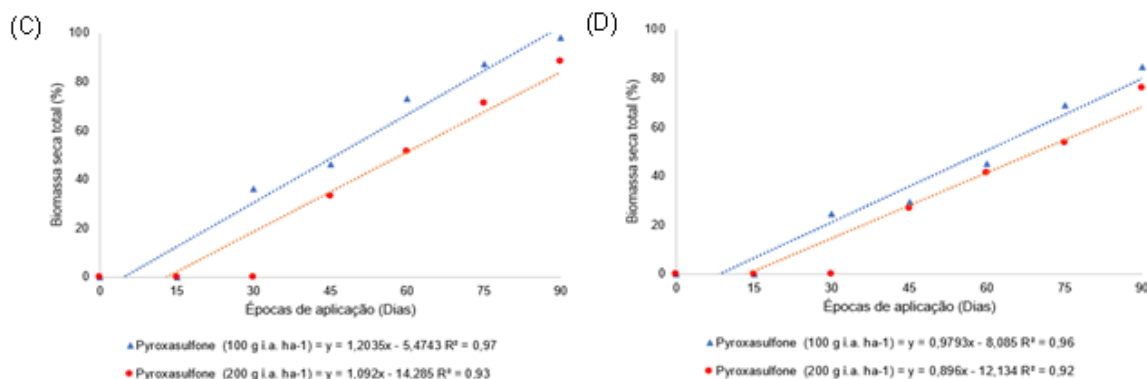


Figura 9. Biomassa seca total (%) das plantas de pepino (*Cucumis sativus*) aos 21 dias após a aplicação de pyroxasulfone + flumioxazin em pré-emergência em solo franco-arenoso (A), pyroxasulfone + flumioxazin em pré-emergência em solo argiloso (B), pyroxasulfone em pré-emergência em solo franco-arenoso (C) e pyroxasulfone em pré-emergência em solo argiloso (D).

De uma maneira geral, foi constatado no presente trabalho que, independente do herbicida aplicado, da dose utilizada e do tipo de solo, o efeito residual foi superior a 90 DAA, sendo observados efeitos significativos nos percentuais de injúria, altura, comprimento de raiz e biomassa seca total do bioindicador pepino, ainda na última época de aplicação (90 DAA).

Conforme verificado em outros trabalhos em condições distintas, este estudo também confirmou que o solo de textura argilosa retém a molécula dos herbicidas, proporcionando maior efeito residual, quando comparado ao solo de textura franco-arenosa. No entanto, em relação as doses aplicadas nos dois tipos de solos, foi possível verificar que em solo franco-arenoso, as maiores doses (200 g i.a. ha⁻¹ de pyroxasulfone e 200 + 133,33 g i.a. ha⁻¹ de pyroxasulfone + flumioxazin) provocaram maior efeito residual, enquanto que em solo argiloso, a diferença entre as doses não foram expressivas. O pepino foi sensível aos herbicidas utilizados, desse modo, pode ser recomendado a menor dose de ambos herbicidas (100 g i.a. ha⁻¹ de pyroxasulfone e 100 + 66,67 g i.a. ha⁻¹ de pyroxasulfone + flumioxazin), para o controle de espécies sensíveis.

A utilização correta e consciente dos herbicidas é muito importante, pois o setor agrícola está diretamente relacionado ao meio ambiente. Dessa forma, a recomendação do pyroxasulfone isolado e associado ao flumioxazin aplicados em pré-emergência deve ser cautelosa, não considerando apenas a eficácia de controle, mas

também o tipo de solo em que serão aplicados, doses utilizadas e espécie cultivada em sucessão.

CONCLUSÕES

Os herbicidas pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin proporcionaram efeito residual superior a 90 dias. No entanto, esses efeitos foram mais expressivos quando aplicado o herbicida pyroxasulfone associado ao flumioxazin.

As maiores doses de ambos os herbicidas (200 g i. a. ha⁻¹ de pyroxasulfone e 200 + 133,33 g i.a. ha⁻¹ de pyroxasulfone + flumioxazin) promoveram maiores efeitos em todas as épocas avaliadas.

O Latossolo Vermelho, de textura argilosa, proporcionou um efeito residual superior, em todas as épocas avaliadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, D. G.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. de; CONSTANTIN, J. Potencial de carryover de herbicidas com atividade residual usados em manejo outonal. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; NETO, A. M. O. (ed.). **Buva: Fundamentos e Recomendações para Manejo**, p. 91 – 104, 2013. ISBN 978-85-64619-06-7

CARVALHO, F. T. Eficácia do flumioxazin aplicado na dessecação pré-colheita da soja e efeito residual no controle de plantas daninhas no milho safrinha. **Cultura Agrônômica**, v. 26, n. 4, p. 683-693, 2017.

CORADIN, J. *et al.* Herbicidas aplicados em pré-emergência para o controle de milho voluntário e capim-amargoso. **Revista Científica Rural**, v. 1, n. 3, 2019.

FERREIRA, D. C.; OLIVEIRA, C. Eficiência de herbicidas pré-emergentes nos controles de plantas daninhas em silvicultura. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT**, n. 2, 2020. ISSN 1806-6933

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-12, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>

GONÇALVES, F. A. R. Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da soja. **Revista Ciências Agrárias**, v. 61, 2018. DOI <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2018.2570>

JAREMTCHUK, C. C. *et al.* Efeito residual de flumioxazin sobre a emergência de plantas daninhas em solos de texturas distintas. **Planta Daninha**, v. 27, n. 1, p. 191-196, 2009.

MARCUSSI, S. A. **Seletividade e eficiência de Pyroxasulfone e Flumioxazin, em mistura e isolados, na cultura do milho e efeito Carryover na cultura do feijão.** 2020. 69 f. Tese (Mestrado em Agronomia: Proteção de Plantas) Faculdade de Ciências Agronômicas, Unesp Câmpus de Botucatu, 2020.

MATTE, W. D. *et al.* Controle de capim-amargoso após a aplicação de herbicidas em préemergência em solo com níveis crescentes de palhada de soja e milho. **Weed Control J.v.** 20, e202100729, 2021.

MATTE, W. D. *et al.* Bioindicators selection to monitoring pyroxasulfone mobility and persistence in soil. **Journal of Research in Weed Science**, v. 4, n. 2, p. 142-150, 2021.

MOROTA, F. K. *et al.* 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, 2018.

MUELLER, T. C.; STECKEL, L. E. Efficacy and dissipation of pyroxasulfone and three chloroacetamides in a Tennessee field soil. **Weed Science**, v. 59, n. 4, p. 574-579, 2011. DOI: 10.1614/ws-d-11-00003.1

NOVAIS, J. R. Potencial de lixiviação de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin em solo submetidos à diferentes simulações de precipitação. **Brazilian Journal of Development**, v.8, n.1, p. 2800 - 2812, 2022. DOI:10.34117/bjdv8n1-185

NUNES, A. L. *et al.* A multy-year study reveals the importance of residual herbicides on weed control in glyphosate-resistant soybean. **Planta Daninha**, v. 36, e018176135, p. 1–10, 2018. DOI: 10.1590/S0100-83582018360100039

OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Eds.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, p. 263-304, 2011.

PRESOTO, J. C. *et al.* Effectiveness and interaction of the association of Flumioxazin and Pyroxasulfone in the control of Guinea grass (*Panicum maximum*). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, n. 4, 2022. DOI: 10.5965/223811712142022435

SILVA, A. A. *et al.* Comportamento de herbicidas no solo. In: MONQUERO, P. A. (Org.). **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. São Carlos: Rima, 2014. p. 145-165.

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

TAKESHITA, V. *et al.* Effect of organic matter on the behavior and control effectiveness of herbicides in soil. **Planta Daninha**, v. 37, e019214401, p. 1–17, 2019. DOI: 10.1590/S0100-83582019370100110

TIMOSSI, P. C. *et al.* Efeito residual de herbicidas auxínicos em soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 19, n. 3, 2020. Doi: <https://doi.org/10.7824/rbh.v19i3.699>

WESTRA, E. P. *et al.* Dissipation and leaching of pyroxasulfone and s-metolachlor. **Weed Technology**, v. 28, n.1, p. 72-81, 2014. DOI: 10.1614/WT-D-13-00047.1

WESTRA, E. P. *et al.* Evaluation of sorption coefficients for pyroxasulfone, s-metolachlor, and dimethenamid-p. **Air, Soil and Water Research**, v. 8, p. 9–15, 2015. DOI:10.4137/ASWR.S19682.

YAMAJI, Y. *et al.* Weed control efficacy of a novel herbicide, pyroxasulfone. **Journal of Pesticide Science**, v. 39, n. 3, p. 165–169, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1584/jpestics.D14-025>

MONQUERO, P. A.; SILVA, P. V. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: BARROSO, A. A.; MURATA, A. T. (Org.). **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, p. 547, 2021.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado no que foi apresentado nos capítulos anteriores, verificou-se que as espécies bioindicadoras, sensíveis aos herbicidas pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin, podem ser utilizadas como uma ferramenta na identificação dos herbicidas no solo, disponibilizando informações para prevenir os potenciais efeitos negativos da sua utilização, como casos de *carryover* em culturas sensíveis e na contaminação do solo e da água. Observou-se que a alface foi a espécie mais sensível aos herbicidas pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin. O sorgo e o pepino também se mostraram candidatos potenciais como bioindicadores e podem ser utilizados para estudos sobre o comportamento dos herbicidas no ambiente.

Os resultados obtidos apontam que a movimentação do pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin no perfil do solo é proporcional ao aumento das lâminas de precipitação. Dessa forma, a maior lâmina de precipitação (90 mm) proporcionou maior lixiviação dos herbicidas testados, os quais atingiram a profundidade de 20-25 cm.

No experimento em que foi avaliado o efeito residual dos herbicidas pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin, foi constatado que o solo de textura argilosa proporcionou maior efeito residual dos herbicidas, quando comparado ao solo

de textura franco-arenosa. Contudo, ambos os herbicidas apresentaram efeito residual superior a 90 dias.

Enfim, a partir da análise dos experimentos, constatou-se que alguns cuidados devem ser tomados antes do uso dos herbicidas pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin, dentre os quais podemos destacar a previsão de grandes volumes de chuva após a aplicação e as características edáficas da área.