

LUCAS HERINGER BARCELLOS JÚNIOR

**COMPORTAMENTO DO SAFLUFENACIL EM LATOSSOLOS COM  
DIFERENTES TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

B242c  
2018  
Barcellos Júnior, Lucas Heringer, 1994-  
Comportamento do saflufenacil em Latossolos com  
diferentes teores de matéria orgânica / Lucas Heringer Barcellos  
Júnior. – Viçosa, MG, 2018.  
viii, 66f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Antonio Alberto da Silva.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Herbicidas. 2. Solos - Movimento de herbicidas. 3. Solos  
- Lixiviação. 4. Absorção. 5. Adsorção. 6. Impacto ambiental.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia.  
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 632.954

LUCAS HERINGER BARCELLOS JÚNIOR


**COMPORTAMENTO DO SAFLUFENACIL EM LATOSSOLOS COM  
DIFERENTES TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 23 de julho de 2018.

  
Christiano da Conceição de Matos

  
Renata Pereira Lopes Moreira

  
Leonardo d'Antonino

  
Antonio Alberto da Silva  
(Orientador)

Aos meus pais Lucas e Elenice,  
aos meus irmãos Priscila e Mateus e à minha  
namorada Nayara, pessoas que alegram a minha vida.

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar saúde, sabedoria e por estar ao meu lado renovando minhas forças e dando disposição durante o transcorrer desta etapa.

Aos meus pais, Lucas e Elenice, razão da minha vida, pela educação que me proporcionaram, por todo carinho e apoio e por sempre torcerem por minha vitória sem medir esforços para que isso acontecesse.

Aos meus irmãos Priscila e Mateus, por quem tenho muita admiração e carinho, imprescindíveis na minha vida.

À minha namorada Nayara, pelo companheirismo, amizade, pela força e ensinamentos. Aos seus pais, Darci e Maria José, e seu irmão, Ronan, por todo carinho e por fazerem parte da minha família.

À Igreja Batista Memorial em Viçosa pelas orações, convívio e aprendizado nesse período.

Ao professor Antonio Alberto da Silva pela orientação, amizade, oportunidades, conselhos e confiança depositada em mim, e por não ter medido esforços para ajudar-me na garantia do bom andamento da pesquisa.

À professora Maria Eliana Lopes Ribeiro de Queiroz pela coorientação e pelos conselhos e sugestões para o enriquecimento deste trabalho.

Aos membros da banca, professor Leonardo d'Antonino, professora Renata Pereira Lopes Moreira, pós-doutorando Christiano da Conceição de Matos pelos conselhos, correções e contribuições para este trabalho.

Ao pós-doutorando Gustavo Antônio Mendes Pereira por todo auxílio, amizade, ensinamentos e conhecimentos transmitidos a mim.

Aos amigos da graduação, pós-graduação e técnicos de laboratório integrantes do grupo Manejo Integrado de Plantas Daninhas, pela amizade e auxílio nos trabalhos desenvolvidos nesta pesquisa.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Centro de Ciências Agrárias e ao Departamento de Fitotecnia pela infraestrutura disponibilizada para a condução dos experimentos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

A todos os meus familiares, pelo incentivo.

A todos que torceram por minha vitória, muito obrigado!

## **BIOGRAFIA**

LUCAS HERINGER BARCELLOS JÚNIOR, filho de Lucas Louback Barcellos e Elenice Sangy Heringer Barcellos, nasceu em 17 de fevereiro de 1994, no município de Manhumirim, Minas Gerais, Brasil.

Em dezembro de 2011, concluiu o Ensino Médio concomitante ao curso Técnico em Agropecuária no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Alegre – ES. Em janeiro de 2017, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. Em março do mesmo ano iniciou o curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de dissertação em 23 de julho de 2018.

## SUMÁRIO

|                         |      |
|-------------------------|------|
| RESUMO .....            | vii  |
| ABSTRACT .....          | viii |
| INTRODUÇÃO GERAL .....  | 1    |
| LITERATURA CITADA ..... | 4    |

### **INFLUÊNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA NA SORÇÃO DO SAFLUFENACIL EM LATOSSOLOS**

|   |    |
|---|----|
| RESUMO .....  | 9  |
| INFLUENCE OF ORGANIC MATTER IN SORPTION OF THE SAFLUFENACIL IN FERRALSOLS ..... | 10 |
| ABSTRACT .....  | 10 |
| INTRODUÇÃO .....  | 11 |
| MATERIAL E MÉTODOS .....  | 12 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 16 |
| CONCLUSÕES .....  | 23 |
| LITERATURA CITADA .....   | 24 |

### **INFLUÊNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA NA LIXIVIAÇÃO DO SAFLUFENACIL EM LATOSSOLOS**

|   |    |
|---|----|
| RESUMO .....  | 28 |
| INFLUENCE OF ORGANIC MATTER IN LEACHING OF SAFLUFENACIL IN FERRALSOLS ..... | 29 |
| ABSTRACT .....  | 29 |
| INTRODUÇÃO .....  | 30 |
| MATERIAL E MÉTODOS .....  | 31 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 35 |
| CONCLUSÕES .....  | 43 |
| LITERATURA CITADA .....   | 44 |

### **SORÇÃO E DESSORÇÃO DO SAFLUFENACIL EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA POR CROMATOGRÁFIA LÍQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA**

|  |    |
|--|----|
| RESUMO .....   | 48 |
| SORPTION AND DESORPTION OF SAFLUFENACIL IN FERRALSOLS WITH DIFFERENTS ORGANIC MATTERS CONTENTS BY HIGH PERFORMANCE LIQUID CROMATOGRAPH ..... | 49 |
| ABSTRACT .....   | 49 |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| INTRODUÇÃO.....              | 50 |
| MATERIAL E MÉTODOS.....      | 51 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... | 54 |
| CONCLUSÃO.....               | 62 |
| LITERATURA CITADA.....       | 63 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS .....   | 66 |

## RESUMO

BARCELLOS JÚNIOR, Lucas Heringer, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2018. **Comportamento do saflufenacil em Latossolos com diferentes teores de matéria orgânica.** Orientador: Antonio Alberto da Silva. Coorientadora: Maria Eliana Lopes Ribeiro de Queiroz.

Aplicações repetidas do glyphosate numa mesma área e safra têm promovido a seleção de populações de plantas daninhas resistentes e a seleção de espécies tolerantes a esse herbicida. Para prevenir esses problemas a alternativa mais viável do ponto vista econômico, a curto prazo, são as misturas do glyphosate com herbicidas de diferentes mecanismos de ação. Dentre os herbicidas mais utilizados nessas misturas se destaca o saflufenacil. Esse herbicida promove controle eficiente de biótipos de buva (*Conyza spp.*) e de diversas outras espécies de plantas daninhas eudicotiledôneas que já adquiriram resistência ou que são tolerantes ao glyphosate. Em razão disso, tem-se verificado com alta frequência aplicações do saflufenacil sem o conhecimento de suas interações com os colóides do solo. Isto poderá resultar em problemas de *carryover* além de contaminação de corpos de água superficial e subterrânea por esse herbicida. A matéria orgânica é um atributo do solo que pode influenciar a dinâmica desse produto devido a complexidade de ligações que podem ser formadas entre a molécula e a matéria orgânica. Nesta pesquisa, utilizando métodos biológicos e químicos foram realizados estudos para conhecer a dinâmica (sorção e lixiviação) do saflufenacil em Latossolos com diferentes teores de matéria orgânica. A espécie indicadora da presença do herbicida na solução do solo nos ensaios de sorção e lixiviação foi a beterraba (*Beta vulgaris*). A sorção e dessorção do saflufenacil foram também avaliadas por cromatografia líquida de alta eficiência. Os resultados do ensaio biológico indicam que a sorção e a lixiviação desse herbicida foram influenciadas pelo teor de matéria orgânica do solo. O aumento do teor de matéria orgânica aumentou a sorção do herbicida em ambos os solos estudados e, conseqüentemente, reduziu a lixiviação do mesmo. O método cromatográfico não foi capaz de quantificar a sorção e a dessorção do saflufenacil nos solos. Isso ocorreu porque não foi possível ajustar um modelo matemático para explicar a cinética de sorção. Conclui-se que apenas o método biológico foi eficiente para avaliar a sorção e lixiviação do saflufenacil nos solos e que existe correlação positiva da sorção desse herbicida com o teor de matéria orgânica e negativa da lixiviação nesse mesmo atributo dos Latossolos avaliados.

## ABSTRACT

BARCELLOS JÚNIOR, Lucas Heringer, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2018. **Saflufenacil behavior in Ferralsols with different organic matter contents.** Adviser: Antonio Alberto da Silva. Co-adviser: Maria Eliana Lopes Ribeiro de Queiroz.

Repeated applications of glyphosate in the same area and crop have promoted the selection of resistant weed populations and the selection of tolerant species for this herbicide. To prevent these problems the most economically viable, in the short term, mixtures of glyphosate with herbicides of different mechanisms of action have been made. Among the herbicides most used in this mixture are saflufenacil. This herbicide promotes efficient control of horseweed biotypes (*Conyza* spp.) and several other eudicotyledon weed species that have already gained resistance or are tolerant to glyphosate. Because of this, applications of saflufenacil have been frequently observed without the knowledge of their interactions with soil colloids. This may result in carryover problems in addition to surface and groundwater contamination by this herbicide. Organic matter is an attribute of soil that can influence the dynamics of the product due to the complexity of bonds that can be formed between a molecule and organic matter. In this research, biological and chemical methods were used to know the dynamics (sorption and leaching) of saflufenacil in Ferralsols with different organic matter contents. The species indicating the presence of the herbicide in the soil solution in the sorption and leaching tests was beetsugar (*Beta vulgaris*). Sorption and desorption of saflufenacil were also evaluated by high performance liquid chromatography. The biological assay results indicate that sorption and leaching of this herbicide were influenced by soil organic matter content. The increase of the organic matter content resulted in increased sorption in both soils studied and, consequently, reduced leaching of the herbicide. The chromatographic method was not able to quantify the sorption and desorption of saflufenacil in soils. This was because it was not possible to fit a mathematical model to explain the kinetics of sorption. We concluded that only the biological method was efficient to evaluate the sorption and leaching of saflufenacil in the soils and that there is positive correlation of the sorption of this herbicide with the organic matter content and negative for leaching to the same attribute of the evaluated Ferralsols.

## INTRODUÇÃO GERAL

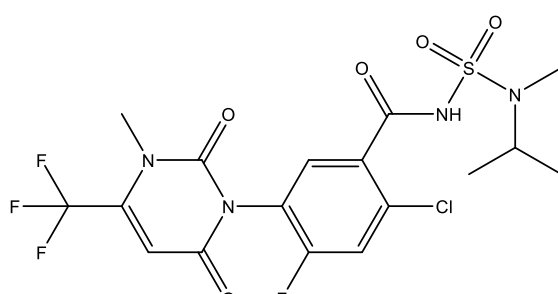
O Brasil é o sexto maior produtor mundial de cereais, com mais de 80 milhões de toneladas produzidas em 2016 (FAOSTAT, 2018a). Um dos principais fatores responsáveis por esse grande volume de produção é o controle das plantas daninhas, pois estas competem com as culturas por água, luz, nutrientes e espaço, reduzindo a qualidade e quantidade do produto colhido (Swanton et al., 2015; Ramesh et al., 2017; Kaur et al., 2018). O método de controle mais empregado no manejo dessas plantas é o químico. O uso de herbicidas tornou a produção agrícola mais simples, econômica (Johnson et al., 2009), pontual e eficiente (Kaur et al., 2018). Isso faz com que essa tecnologia seja largamente utilizada, fazendo do Brasil o maior consumidor de herbicidas do mundo (FAOSTAT, 2018b).

O glyphosate, por possuir baixa toxicidade para animais, amplo espectro de controle, ser não-seletivo, sistêmico e possuir baixo efeito residual no solo é o herbicida mais utilizado em escala global (Annett et al., 2014; Cattani et al., 2014; Myers et al., 2016). A crescente utilização das culturas geneticamente modificadas, sobretudo as resistentes ao glyphosate, tem aumentado o consumo desse herbicida (Benbrook, 2016). O uso inadequado do glyphosate, muitas vezes em doses diferentes da recomendada e com aplicações repetitivas numa mesma área e safra, tem resultado em grande pressão de seleção nas plantas daninhas, selecionando biótipos resistentes (Kaspary et al., 2017). Entre as plantas daninhas eudicotiledôneas com biótipos resistentes ao glyphosate no Brasil, destacam-se a *Conyza bonariensis*, *C. canadensis* (Lamego e Vidal, 2008), *C. sumatrensis* (Santos et al., 2014), *Euphorbia heterophylla* (Vidal et al., 2007) e, mais recentemente, *Amaranthus palmeri* (Carvalho et al., 2015; Gonçalves Netto et al., 2016).

Como alternativa de controle dos biótipos resistentes ao glyphosate, em 2013 o herbicida saflufenacil {2-chloro-4-fluoro-5-[3-methyl-2,6-dioxo-4-(trifluoromethyl)pyrimidin-1-yl]-N-[methyl(propano-2-yl)sulfamoyl]benzamide} foi registrado no Brasil para o manejo de plantas daninhas eudicotiledôneas nas seguintes culturas: algodão, arroz, banana, batata, café, cana-de-açúcar, citros, maçã, mamona, manga, feijão, girassol, pastagens, milho, soja e trigo (MAPA, 2018). O saflufenacil (Tabela 1) pertence ao grupo químico pirimidinadiona, e atua inibindo a enzima protoporfirinogênio IX oxidase (Protox), que em contato com a luz ocasiona rápida peroxidação da membrana de plantas sensíveis causando necrose nos tecidos foliares e a morte da planta (Grossmann

et al., 2010). Esse herbicida apresenta pouca toxicidade aguda em humanos, peixes, pássaros e insetos (USEPA, 2009). O saflufenacil apresenta solubilidade em água (pH 7,0) = 2100 mg L<sup>-1</sup>; pKa = 4,41; K<sub>ow</sub> = 368; constante da lei de Henry = 4,0 x 10<sup>-20</sup> atm m<sup>-3</sup> mol<sup>-1</sup> e pressão de vapor = 4,5 x 10<sup>-15</sup> Pa a 20 °C. Essas propriedades estão associadas ao comportamento dessa molécula no solo. Em solos que o valor de pH é maior que o pKa do herbicida, o saflufenacil tende a permanecer na solução do solo e estar mais propenso a lixiviação.

Tabela 1. Fórmula estrutural e características físicas e químicas do saflufenacil

| Fórmula estrutural   | Características   |
|--|---|
|  | <p>Fórmula Molecular: C<sub>17</sub>H<sub>17</sub>ClF<sub>4</sub>N<sub>4</sub>O<sub>5</sub>S</p> <p>Massa Molar (g mol<sup>-1</sup>): 500,85</p> <p>Ácido fraco</p> <p>Solubilidade em água (mg L<sup>-1</sup>): 2.100,00</p> |

Diversos trabalhos nos Estados Unidos e Canadá tem confirmado a eficácia do saflufenacil em aplicação isolada ou em mistura com outros herbicidas no controle de plantas daninhas resistente ao glyphosate como a buva (Brown et al., 2016; Budd et al., 2016; Mahoney et al., 2016; Budd et al., 2017; Montgomery et al., 2017) e o caruru palmeri (Crow et al., 2015; Rios et al., 2016), nas culturas do milho e da soja. No Brasil o saflufenacil tem sido utilizado com a mesma finalidade (Dalazen et al., 2015; Pereira et al., 2016a). Todavia, há pouco conhecimento do comportamento desse herbicida nos solos brasileiros.

O destino do herbicida é quase sempre o solo (Law, 2001). Em razão disso, antes da recomendação de um herbicida é de grande importância conhecer a dinâmica da molécula no ambiente. Diversas pesquisas (De Gerónimo et al., 2018; Islam et al., 2018; Jiang et al., 2018) confirmam que esta dinâmica é influenciada pelas características do composto, das propriedades do solo e das condições climáticas. O herbicida no ambiente pode sofrer sorção, dessorção, lixiviação, escoamento superficial, volatilização, degradação e absorção pelas plantas. O processo de sorção tem papel importante na

biodisponibilidade e controla a lixiviação do herbicida no solo (Alekseeva et al., 2014, Khorram et al., 2017; Guijarro et al., 2018; Szmigielski et al., 2018).

O saflufenacil é um herbicida de caráter ácido fraco, tendo o pH como o atributo que mais influencia no comportamento desse xenobiótico no solo (Paszko et al., 2016). No entanto, os minerais e o teor de matéria orgânica também são importantes sorventes do saflufenacil nos solos (Paszko et al., 2016). Diversos outros autores (Ertli et al., 2004, Okada et al., 2016, Pereira et al., 2016b) também constaram que a dinâmica de herbicida nos solos pode ser influenciada por diferentes atributos dos solos, dependendo das características de suas moléculas. Na busca de reduzir os riscos ambientais decorrentes da utilização do saflufenacil realizou-se esta pesquisa visando conhecer o comportamento desse herbicida em Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes teores de matéria orgânica.

## LITERATURA CITADA

ALEKSEEVA, T.; KOLYAGIN, Y.; SANCELME, M.; BESSE-HOGGAN, P. Effect of soil properties on pure and formulated mesotrione adsorption onto vertisol (Limagne plane, Puy-de-Dome, France). **Chemosphere**, v. 111, p. 177-183, 2014.

ANNETT, R.; HABIBI, H.R.; HONTELA, A. Impact of glyphosate and glyphosate-based herbicides on the freshwater environment. **Journal Applied Toxicology**, v. 34, p. 458-479, 2014.

BENBROOK, C.M. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. **Environmental Science Europe**, v. 28, n. 3, p. 1-15, 2016.

BROWN, L. R.; SHROPSHIRE, C.; SIKKEMA, P. H. Control of glyphosate-resistant Canada fleabane in corn with preplant herbicides. **Canadian journal of plant science**, v. 96, ed. 6, p. 932-934, 2016.

BUDD, C. M.; SOLTANI, N.; ROBINSON, D. E.; HOOKER, D. C.; MILLER, R. T.; SIKKEMA, P. H. Efficacy of Saflufenacil for Control of Glyphosate-Resistant Horseweed (*Conyza canadensis*) as Affected by Height, Density, and Time of Day. **Weed Science**, v. 65, n. 2, p. 275-284, 2017.

BUDD, C. M.; SOLTANI, N.; ROBINSON, D. E.; HOOKER, D. C.; MILLER, R. T.; SIKKEMA, P. H. Glyphosate-Resistant Horseweed (*Conyza canadensis*) Dose Response to Saflufenacil, Saflufenacil plus Glyphosate, and Metribuzin plus Saflufenacil plus Glyphosate in Soybean. **Weed Science**, v. 64, n. 4, p. 727-734, 2016.

CARVALHO, S.J.P.; GONÇALVES NETTO, A.; NICOLAI, M.; CAVENAGHI, A.L.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Detection of glyphosate-resistant palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in agricultural areas of Mato Grosso, Brazil. **Planta Daninha**, v. 33, n. 3, p. 579-586, 2015.

CATTANI, D.; DE LIZ OLIVEIRA CAVALLI, V.L.; HEINZ RIEG, C.E.; DOMINGUES, J.T.; DAL-CIM, T.; TASCIA, C.I.; MENA BARRETO SILVA, F.R.; ZAMONER, A. Mechanisms underlying the neurotoxicity induced by glyphosate-based herbicide in immature rat hippocampus: involvement of glutamate excitotoxicity. **Toxicology**, v. 320, p. 34-45, 2014.

CROW, W. D.; STECKEL, L. E.; HAYES, R. M.; MUELLER, T. C. Evaluation of POST-Harvest Herbicide Applications for Seed Prevention of Glyphosate-Resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). **Weed technology**, v. 29, ed. 3, p. 405-411, 2015.

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

DE GERÓNIMO, E.; APARICIO, V. C.; COSTA, J. L. Glyphosate sorption to soils of Argentina. Estimation of affinity coefficient by pedotransfer function. **Geoderma**, v. 322, p. 140-148, 2018.

ERTLI, T.; MARTON, A.; FÖLDÉNYI, R. Effect of pH and the role of organic matter in the adsorption of isoproturon on soils. **Chemosphere**, v. 57, p. 771-779, 2004.

FAOSTAT, 2018a – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Crops**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 01 de junho de 2018.

FAOSTAT, 2018b – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Pesticides Use**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>>. Acesso em: 01 de junho de 2018.

GONÇALVES NETTO, A.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S.J.P.; BORGATO, E.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Multiple resistance of *Amaranthus palmeri* to ALS and EPSPS inhibiting herbicides in the state of Mato Grosso, Brazil. **Planta Daninha**, v. 34, n. 3, p. 581-587, 2016.

GROSSMANN, K.; NIGGEWEG, R.; CHRISTIANSEN, N.; LOOSER, R.; EHRHARDT, T. The herbicide saflufenacil (Kixor™) is a new inhibitor of protoporphyrinogen IX oxidase activity. **Weed Science**, v. 58, p. 1-9, 2010.

GUIJARRO, K. H.; APARICIO, V.; DEGERÓNIMO, E.; CASTELLOTE, M.; FIGUEROLA, E. L.; COSTA, J. L.; ERIJMAN, L. Soil microbial communities and glyphosate decay in soils with different herbicide application history. **Science of The Total Environment**, v. 634, p. 974-982, 2018.

ISLAM, F.; WANG, J.; FAROOQ, M. A.; KHAN, M. S. S.; XU, L.; ZHU, J.; ZHAO, M.; MUÑOS, S.; LI, Q. X.; ZHOU, W. Potential impact of the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on human and ecosystems. **Environment International**, v. 111, p. 332-351, 2018.

JIANG, R.; WANG, M.; CHEN, W. Characterization of adsorption and desorption of lawn herbicide siduron in heavy metal contaminated soils. **Chemosphere**, v. 204, p. 483-491, 2018.

JOHNSON, W. G.; DAVIS, V. M.; KRUGER, G. R.; WELLER, S. C. Influence of glyphosate-resistant cropping systems on weed species shifts and glyphosate-resistant weed populations. **European Journal of Agronomy**, v. 31, p. 162–172, 2009.

KASPARY, T. E.; LAMEGO, F. P.; CUTTI, L.; AGUIAR, A. C. M.; RIGON, C. A. G. BASSO, C. J. Growth, phenology, and seed viability between glyphosate-resistant and glyphosate-susceptible hairy fleabane. **Bragantia**, v. 76, n. 1, p. 92-101, 2017.

KAUR, S.; KAUR, R.; CHAUHAN, B. S. Understanding crop-weed-fertilizer-water interactions and their implications for weed management in agricultural systems. **Crop Protection**, v. 103, p. 65-72, 2018.

KHORRAM, M. S.; LIN, D.; ZHANG, Q.; ZHENG, Y.; FANG, H.; YU, Y. Effects of aging process on adsorption–desorption and bioavailability of fomesafen in an agricultural soil amended with rice hull biochar. **Journal of Environmental Sciences**, v. 56, p. 180-191, 2017.

LAMEGO, F. P. e VIDAL, R. A. Resistência ao glyphosate em biótipos de *Conyza bonariensis* e *Conyza canadensis* no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 467-471, 2008.

LAW, S. E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during de 20<sup>th</sup> century. **Journal Electrostatic**, v. 51-52, p. 25-42, 2001

MAHONEY, K. J.; MCNAUGHTON, K. E.; SIKKEMA, P. H. Herbicide tank mixtures to control co-existing glyphosate-resistant Canada fleabane and giant ragweed in soybean. **Canadian journal of plant science**, v. 96, ed. 4, p. 657-661, 2016.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons!/ap\\_produto\\_form\\_detalhe\\_cons?p\\_id\\_produto\\_formulado\\_tecnico=9299&p\\_tipo\\_janela=NEW](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons!/ap_produto_form_detalhe_cons?p_id_produto_formulado_tecnico=9299&p_tipo_janela=NEW)>. Acesso em 02 de junho de 2018.

MONTGOMERY, G. B.; TREADWAY, J. A.; REEVES, J. L.; STECKEL, L. E. Effect of Time of Day of Application of 2,4-D, Dicamba, Glufosinate, Paraquat, and Saflufenacil on Horseweed (*Conyza canadensis*) Control. **Weed Technology**, v. 31, n. 4, p. 550-556, 2017.

MYERS, J.P.; ANTONIOU, M.N.; BLUMBERG, B.; CARROLL, L.; COLBORN, T.; EVERETT, L.G.; HANSEN, M.; LANDRIGAN, P.J.; LANPHEAR, B.P.; MESNAGE, R.; VANDENBERG, L.N.; VOM SAAL, F.S.; WELSHONS, W.V.; BENBROOK, C.M. Concerns over use of glyphosate-based herbicides and risks associated with exposures: a consensus statement. **Environmental Health**, v. 15, p. 1-13, 2016.

OKADA, E.; COSTA, J. L.; BEDMAR, F. Adsorption and Mobility of Glyphosate in Different Soils Under No-Till and Conventional Tillage. **Geoderma**, v. 263, p. 78–85, 2016.

PASZKO, T.; MUSZYŃSKI, P.; MATERSKA, M.; BOJANOWSKA, M.; KOSTECKA, M.; JACKOWSKA, I. Adsorption and degradation of phenoxyalkanoic acid herbicides in soils: a review. **Environmental Toxicol. Chemistry**, v. 35, n. 2, p. 271, 2016.

PEREIRA, G. A. M.; BARCELLOS JR, L. H.; GONÇALVES, V. A.; SILVA, D. V.; FARIA, A. T.; SILVA, A. A. Sorption of clomazone in brazilian soils with different physical and chemical attributes. **Planta Daninha**, v. 34, n. 2, p. 357-364, 2016b.

PEREIRA, L. V.; CARVALHO, L. B.; MAGRO, T. D. Controle químico de buva resistente a glyphosate é mais eficaz no pré-florescimento ou no rebrote? **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.15, n.3, P. 277-280, 2016a.

RAMESH K., MATLOOB A., ASLAM F., FLORENTINE S., CHAUHAN B. S. Weeds in a changing climate: vulnerabilities, consequences, and implications for future weed management. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1-12, 2017.

RIOS, S. I.; WRIGHT, S. D.; BANUELOS, G.; SHRESTHA, A. Tolerance of *Amaranthus palmeri* populations from California to postemergence herbicides at various growth stages. **Crop protection**, v. 87, p. 6-12, 2016.

SANTOS G., OLIVEIRA J., CONSTANTIN, J., FRANSCISCHINI, A. C.; OSIPE, J. B. Multiple resistance of *Conyza sumatrensis* to chlorimuron ethyl and to glyphosate. **Planta Daninha**, v. 32, p. 409-416, 2014.

SWANTON C. J., NKOA R., BLACKSHAW R. E. Experimental methods for crop–weed competition studies. **Weed Science**, v. 63, p. 2-11, 2015.

SZMIGIELSKI, A. M.; HANGS, R. D.; SCHOENAU, J. J. Bioavailability of Metsulfuron and Sulfentrazone Herbicides in Soil as Affected by Amendment with Two Contrasting Willow Biochars. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 100, p. 298-302, 2018.

USEPA - Pesticide Fact Sheet, Saflufenacil; Office of Prevention, Pesticides, and Toxic Substances: Washington DC, 2009.

VIDAL, R. A.; TREZZI, M. M.; DE PRADO, R; RUIZ-SANTAELLA, J. P.; VILA-AIUB, M. Glyphosate resistant biotypes of wild poinsettia (*Euphorbia heterophylla* L.) and its risk analysis on glyphosate-tolerant soybeans. **Journal Food Agricultural Environment**, v. 5, n. 2, p. 265-269, 2007.

## **INFLUÊNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA NA SORÇÃO DO SAFLUFENACIL EM LATOSSOLOS**

**Resumo** – O herbicida saflufenacil tem sido aplicado nas áreas agrícolas do Brasil como alternativa eficiente no controle de plantas daninhas resistentes e, ou tolerantes ao glyphosate. No entanto, pouco se sabe sobre os riscos ambientais decorrentes do uso desse herbicida. Com o intuito de conhecer a dinâmica do saflufenacil no ambiente, nesta pesquisa foi avaliada a sorção desse herbicida em dez substratos constituídos de amostras de solos de textura arenosa (Latossolo Amarelo) e argilosa (Latossolo Vermelho-Amarelo) com diferentes teores de matéria orgânica, além de um substrato inerte constituído de areia lavada. Utilizou-se a beterraba como espécie indicadora da presença do saflufenacil na solução dos substratos. As variáveis estudadas foram notas dos sintomas de intoxicação das plantas causadas pelo herbicida avaliadas aos 7, 14 e 21 dias após a emergência (DAE) das plantas e o acúmulo de matéria seca da parte aérea, da raiz e total das plantas indicadoras avaliadas por ocasião da colheita do experimento aos 21 DAE. Com esses dados foi estimada a dose necessária do saflufenacil responsável por causar 50% de intoxicação nas plantas ou inibir em 50% o acúmulo de matéria seca pelas plantas ( $C_{50}$ ). Os valores de  $C_{50}$  foram maiores com o incremento do teor de matéria orgânica em ambos os Latossolos, evidenciando a importância desse atributo na sorção do saflufenacil no solo. Concluiu-se que existe correlação positiva entre os teores de matéria orgânica e a sorção do saflufenacil nos solos avaliados.

**Palavras-chave:** retenção, comportamento no solo, herbicida, ambiente.

## **INFLUENCE OF ORGANIC MATTER IN SORPTION OF THE SAFLUFENACIL IN FERRALSOLS**

**Abstract** – The saflufenacil herbicide has been applied in the agricultural areas of Brazil as an efficient alternative for the control of resistant and tolerant weeds to glyphosate. However, there are few known about the environmental risks arising from the use of this herbicide. In order to know the dynamics of the saflufenacil in the environment, this research evaluated the sorption of this herbicide in ten substrates composed of samples of soils of sandy texture (Xanthic Ferralsol) and clayed texture (Ferralsol) with different organic matter contents, as well as an inert substrate consisting of washed sand. The experiment was arranged in a factorial 10 x 10 (ten substrates and ten doses of saflufenacil) was adopted with four replications, in a completely randomized design. The beetsugar was used as a species indicating the presence of saflufenacil in the solution of the substrates. The variables evaluated were herbicide poisoning symptom notes evaluated at 7, 14 and 21 DAE and the dry matter accumulation of shoot, root and total indicator plants at 21 DAE. With these data, was estimated the required dose of saflufenacil responsible for causing 50% of plant poisoning or inhibiting in 50% of the accumulation of dry matter by plants ( $C_{50}$ ). It was concluded that there is a positive correlation between organic matter content and saflufenacil sorption in soils evaluated.

**Keywords:** retention, behavior in soil, herbicide, environment.

## INTRODUÇÃO

O uso de agrotóxicos na agricultura é uma importante ferramenta de manejo que auxilia na manutenção da qualidade e quantidade da produção (Souza et al., 2016). Dentre os agrotóxicos, os herbicidas são os mais consumidos no mundo, uma vez que são largamente utilizados no controle de plantas daninhas (FAOSTAT, 2018). Essas plantas competem com as culturas às vezes, por recursos limitados, podendo causar redução da produtividade e até mesmo afetar a qualidade do produto final (Ramesh et al., 2017; Kaur et al., 2018).

O saflufenacil {2-chloro-4-fluoro-5-[3-methyl-2,6-dioxo-4-(trifluoromethyl)pyrimidin-1-yl]-N-[methyl(propano-2-yl)sulfamoyl]benzamide} é um herbicida registrado para o controle de plantas daninhas eudicotiledôneas em pré ou pós-emergência nas principais culturas agrícolas do Brasil (MAPA, 2018). Este produto tem sido adotado como alternativa no controle de biótipos de plantas daninhas resistentes ao glyphosate, tais como a buva (*Conyza* spp.) e caruru palmeri (*Amaranthus palmeri*) (Davis et al., 2010; Dennis et al., 2016; Umphres et al., 2018). Contudo, há pouca informação a respeito do comportamento desse herbicida em solos tropicais.

O comportamento do herbicida no solo é governado por uma variedade de complexos processos físicos, químicos e biológicos, incluindo volatilização, sorção, dessorção, degradação química e biológica, absorção pelas plantas, escoamento superficial e lixiviação (Alekseeva et al., 2014). Todos esses processos são dependentes das propriedades físico-químicas do herbicida, condições ambientais, atividade microbiana e propriedades do solo (Islam et al., 2018).

A sorção é definida como o processo de transferência físico-químico pelos quais o material é particionado entre fases sólidas e aquosas (Wauchope et al. 2002). É um dos processos mais importantes que regulam a mobilidade e a biodisponibilidade dos herbicidas nos solos (Hale et al., 2016), determinando a persistência do herbicida, o risco de contaminação ambiental e a eficácia do produto (Wauchope et al. 2002). O grau de sorção do herbicida no solo é influenciado pelas propriedades do solo, tais como a textura, mineralogia, capacidade de troca de cátions, pH e teor de matéria orgânica. A sorção também é influenciada pelas propriedades da molécula do herbicida, como a solubilidade, o coeficiente de partição octanol-água e a constante de dissociação (Chirukuri e Atmakuru, 2015).

A sorção de herbicidas ácido-fracos, como o saflufenacil, é principalmente dependente do pH do solo (Paszko et al., 2016). Contudo, os minerais e a matéria orgânica também são importantes atributos por influenciar a retenção desses herbicidas nos solos (Paszko, 2014; Paszko et al., 2016). O entendimento das interações entre o saflufenacil e os coloides do solo faz-se necessário para a prevenção da contaminação ambiental e garantir a sustentabilidade dos sistemas de cultivos. Na busca desse conhecimento, neste trabalho foi estimada a sorção do saflufenacil em amostras de solos de textura arenosa (Latossolo Amarelo) e argilosa (Latossolo Vermelho-Amarelo) com diferentes teores de matéria orgânica.

## MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de dois solos distintos (arenoso e argiloso), provenientes de áreas sem histórico de aplicação de herbicida, foram utilizadas para a condução do experimento de sorção. O Latossolo Amarelo (LA) do município de Três Marias–MG e o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) do município de Viçosa–MG foram coletados na profundidade de 0-20 cm. A escolha desses solos foi realizada levando-se em consideração ao fato desses serem largamente distribuídos e utilizados nos diversos estados brasileiros nas diferentes culturas agrícolas de grande importância econômica para o país. Ambos os solos foram encubados com esterco bovino pelo período de 30 dias nas seguintes proporções (v:v): 0:1; 0,25:1; 0,5:1; 0,75:1 e 1:1 L de matéria orgânica L<sup>-1</sup> de solo. Em seguida foram secas ao ar e desintegradas em peneira com malha de 4 mm. Os substratos foram submetidos a análises química e física. Dessa forma, os tratamentos consistiram de LA e LVA com cinco diferentes teores de matéria orgânica (Tabela 1).

Para estimar a sorção do saflufenacil nestes solos, utilizou-se como material inerte a areia lavada, que também foi peneirada com malha de 4 mm. Para tornar a areia um material inerte, a mesma foi lavada em água corrente para retirar o excesso de impurezas. Posteriormente, foi submetida ao repouso com HCl - 10% por 36 horas para eliminação da matéria orgânica. Após esse período, a areia foi novamente lavada com água corrente para remover o excesso de ácido, até que a mesma atingisse pH próximo de 7,0.

Adotou-se o esquema fatorial 10 x 10, com quatro repetições, onde o fator A correspondeu aos dez substratos avaliados (areia lavada e os solos com diferentes teores de matéria orgânica) e o fator B as dez doses do saflufenacil na formulação comercial Heat<sup>®</sup>, derivadas da dose comercial (100 g ha<sup>-1</sup>). As doses do saflufenacil foram definidas

em ensaios preliminares para cada um dos solos em estudo, inclusive a areia (Tabela 2). O critério utilizado na escolha das doses foi através do estabelecimento da curva de dose-resposta nos ensaios preliminares, de tal maneira que as doses utilizadas no experimento de sorção fossem fracionadas a fim de obter pontos que permitissem o ajuste do modelo matemático.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos dos tratamentos: Latossolo Amarelo (LA) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) acrescidos de diferentes quantidades de esterco

| Solos                             | Tratamento | Esterco:Solo<br>(v:v) | MO<br>% | pH<br>(H <sub>2</sub> O) | P<br>-----mg dm <sup>-3</sup> ----- | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | H+Al | A. grossa A. fina Silte Argila |      |      |      |
|-----------------------------------|------------|-----------------------|---------|--------------------------|-------------------------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------|--------------------------------|------|------|------|
|                                   |            |                       |         |                          |                                     |                |                  |                  |                  |      | -----%-----                    |      |      |      |
| Latossolo<br>Amarelo              | LA1        | 0:1                   | 0,65    | 4,98                     | 0,30                                | 9,00           | 0,13             | 0,04             | 0,20             | 2,1  | 20,1                           | 57,2 | 3,4  | 19,3 |
|                                   | LA2        | 0,25:1                | 1,43    | 6,16                     | 46,80                               | 408,00         | 1,84             | 1,15             | 0,00             | 1,1  | 18,5                           | 58,9 | 3,7  | 18,8 |
|                                   | LA3        | 0,5:1                 | 3,00    | 6,80                     | 161,20                              | 887,00         | 3,26             | 2,11             | 0,00             | 0,5  | 17,6                           | 57,7 | 5,3  | 19,5 |
|                                   | LA4        | 0,75:1                | 5,09    | 7,21                     | 348,90                              | 1386,00        | 4,45             | 3,36             | 0,00             | 0,3  | 19,8                           | 53,8 | 4,5  | 21,9 |
|                                   | LA5        | 1:1                   | 7,43    | 7,33                     | 612,30                              | 2292,00        | 4,65             | 3,80             | 0,00             | 0,5  | 24,6                           | 45,9 | 7,6  | 21,9 |
| Latossolo<br>Vermelho-<br>Amarelo | LVA1       | 0:1                   | 1,43    | 4,97                     | 8,90                                | 21,00          | 0,52             | 0,13             | 0,99             | 4,1  | 18,6                           | 8,5  | 13,6 | 59,3 |
|                                   | LVA2       | 0,5:1                 | 5,09    | 6,09                     | 171,60                              | 967,00         | 4,73             | 2,91             | 0,00             | 1,8  | 17,8                           | 8,9  | 10,8 | 62,5 |
|                                   | LVA3       | 0,75:1                | 6,65    | 6,55                     | 297,10                              | 1625,00        | 6,29             | 4,10             | 0,00             | 1,3  | 18,2                           | 9,4  | 14,3 | 58,1 |
|                                   | LVA4       | 1:1                   | 8,87    | 6,95                     | 434,50                              | 2173,00        | 6,89             | 4,92             | 0,00             | 0,5  | 19,6                           | 10   | 14,8 | 55,7 |

Análises realizadas no Laboratório de Análises de Solo da Universidade Federal de Viçosa, segundo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1997); MO = matéria orgânica.

Tabela 2. Doses do saflufenacil (g ha<sup>-1</sup>) aplicadas nos substratos Areia Lavada, Latossolo Amarelo (LA) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)

| Areia  | Substratos <sup>1</sup>     |      |      |      |     |        |      |      |      |
|--------|-----------------------------|------|------|------|-----|--------|------|------|------|
|        | LA1                         | LA2  | LA3  | LA4  | LA5 | LVA1   | LVA2 | LVA3 | LVA4 |
|        | Doses (g ha <sup>-1</sup> ) |      |      |      |     |        |      |      |      |
| 0      | 0                           | 0    | 0    | 0    | 0   | 0      | 0    | 0    | 0    |
| 0,3125 | 0,3125                      | 3,5  | 5    | 5    | 5   | 0,3125 | 5    | 5    | 5    |
| 1,25   | 1,25                        | 5    | 12,5 | 20   | 20  | 1,25   | 12,5 | 20   | 20   |
| 2      | 2,75                        | 20   | 20   | 30   | 50  | 2,75   | 20   | 25   | 25   |
| 2,75   | 5                           | 30   | 30   | 42,5 | 65  | 5      | 30   | 30   | 30   |
| 3,5    | 7,5                         | 35   | 35   | 50   | 75  | 7,5    | 35   | 35   | 35   |
| 4,25   | 10                          | 42,5 | 42,5 | 65   | 85  | 10     | 42,5 | 42,5 | 42,5 |
| 5      | 12,5                        | 50   | 50   | 85   | 95  | 15     | 50   | 50   | 50   |
| 10     | 15                          | 100  | 100  | 100  | 100 | 25     | 100  | 100  | 100  |
| 20     | 30                          | 200  | 200  | 200  | 200 | 50     | 200  | 200  | 200  |

1/ LA1-Latossolo Amarelo 0,65% matéria orgânica; LA2- Latossolo Amarelo 1,43% matéria orgânica; LA3- Latossolo Amarelo 3,0% matéria orgânica; LA4- Latossolo Amarelo 5,09% matéria orgânica; LA5- Latossolo Amarelo 7,43% matéria orgânica; LVA1-Latossolo Vermelho-Amarelo 1,43% matéria orgânica; LVA2-Latossolo Vermelho-Amarelo 5,09% matéria orgânica; LVA3-Latossolo Vermelho-Amarelo 6,65% matéria orgânica; LVA4-Latossolo Vermelho-Amarelo 8,87% matéria orgânica.

As unidades experimentais foram constituídas por vasos contendo 0,3 dm<sup>3</sup>, preenchidos com os respectivos substratos. Posteriormente, aplicou-se o saflufenacil na superfície dos solos. Para isso foi utilizado um pulverizador pressurizado a CO<sub>2</sub>, equipado com duas pontas TT 11002, espaçados em 0,50 m, mantidos à pressão de 35,5 lb pol<sup>-2</sup> e volume de calda de 180 L ha<sup>-1</sup>. Após aplicação, os solos foram homogeneizados de modo que o herbicida interagisse com todo o volume de solo.

A semeadura da espécie indicadora (*Beta vulgaris* - beterraba) foi realizada com cinco sementes por vaso da cultivar ‘Early Wonder Tall Top’, mantendo três plantas por vaso após a emergência. Aos 7, 14 e 21 dias após a emergência (DAE) das plantas indicadoras, avaliou-se o índice de intoxicação das plantas conforme a escala EWRC (1964), modificada para notas que variaram de 0 (ausência de intoxicação) a 100 (morte da planta).

Aos 21 DAE as plantas foram seccionadas à altura do coleto e acondicionadas em sacos de papel que foram mantidos em estufa de circulação forçada de ar (70 ± 2 °C) até o material vegetal atingir massa constante. Posteriormente, determinou-se a matéria seca da parte aérea, raiz e total das plantas em balança de precisão analítica (0,0001 g).

Os dados referentes as notas de intoxicação das plantas obtidos nas avaliações realizadas aos 7, 14 e 21 dias após a emergência das plantas (FITO 7, FITO 14 e FITO 21), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSSR) e matéria seca total (MST) da beterraba foram submetidas a análise multivariada para determinar a porcentagem de similaridade entre essas variáveis. Essa análise baseou-se na correlação absoluta entre variáveis e permitiu observar se houve comportamento semelhante entre as variáveis-resposta, de tal forma que uma única variável pôde ser suficiente para explicar o comportamento do saflufenacil nos solos. Os valores de intoxicação, matéria seca da parte aérea, matéria seca da raiz e matéria seca total das plantas foram expressos em porcentagem em relação a testemunha (sem aplicação do herbicida).

Para interpretação dos resultados, as variáveis foram comparadas aos do tratamento sem herbicida (dose zero), sendo submetidos à análise estatística, utilizando-se o modelo log-logístico não-linear proposto por Seefeldt et al. (1995):

$$Y = C + \frac{D - C}{1 + \left(\frac{X}{C_{50}}\right)^b}$$

Em que D e C correspondem ao nível máximo e mínimo da curva de dose-resposta, respectivamente; b, ao declive da curva em torno do  $C_{50}$ ; e o  $C_{50}$ , à dose-resposta referente à intoxicação de 50% da planta indicadora.

A partir dos dados obtidos de  $C_{50}$  em solo e areia lavada, a equação a seguir foi utilizada para expressar a relação de sorção (RS) do solo em relação à resposta obtida em areia para a espécie indicadora (Souza, 1994). Considera-se que valores de RS elevados indicam maior capacidade de sorção do herbicida no solo e, possivelmente, menor potencial de lixiviação do composto no perfil do solo.

$$RS = \frac{C_{50\text{solo}} - C_{50\text{areia}}}{C_{50\text{areia}}}$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis notas de intoxicação das plantas referentes às avaliações realizadas aos 7, 14 e 21 DAE e o acúmulo de matéria seca da parte aérea, raiz e total são semelhantes entre si (Figuras 1 e 2). Essas variáveis apresentaram acima de 60% de similaridade pela análise multivariada. Este índice de similaridade ocorreu para

porcentagem de intoxicação na areia lavada e em todas as amostras de Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo (Figuras 1 e 2), com exceção do Latossolo Vermelho-Amarelo com 1,43% de MO, que apresentou apenas 40% de similaridade. Em razão da semelhança, de forma geral, no comportamento entre as variáveis, optou-se por apresentar apenas a variável nota de intoxicação aos 21 DAE para representar as demais variáveis.

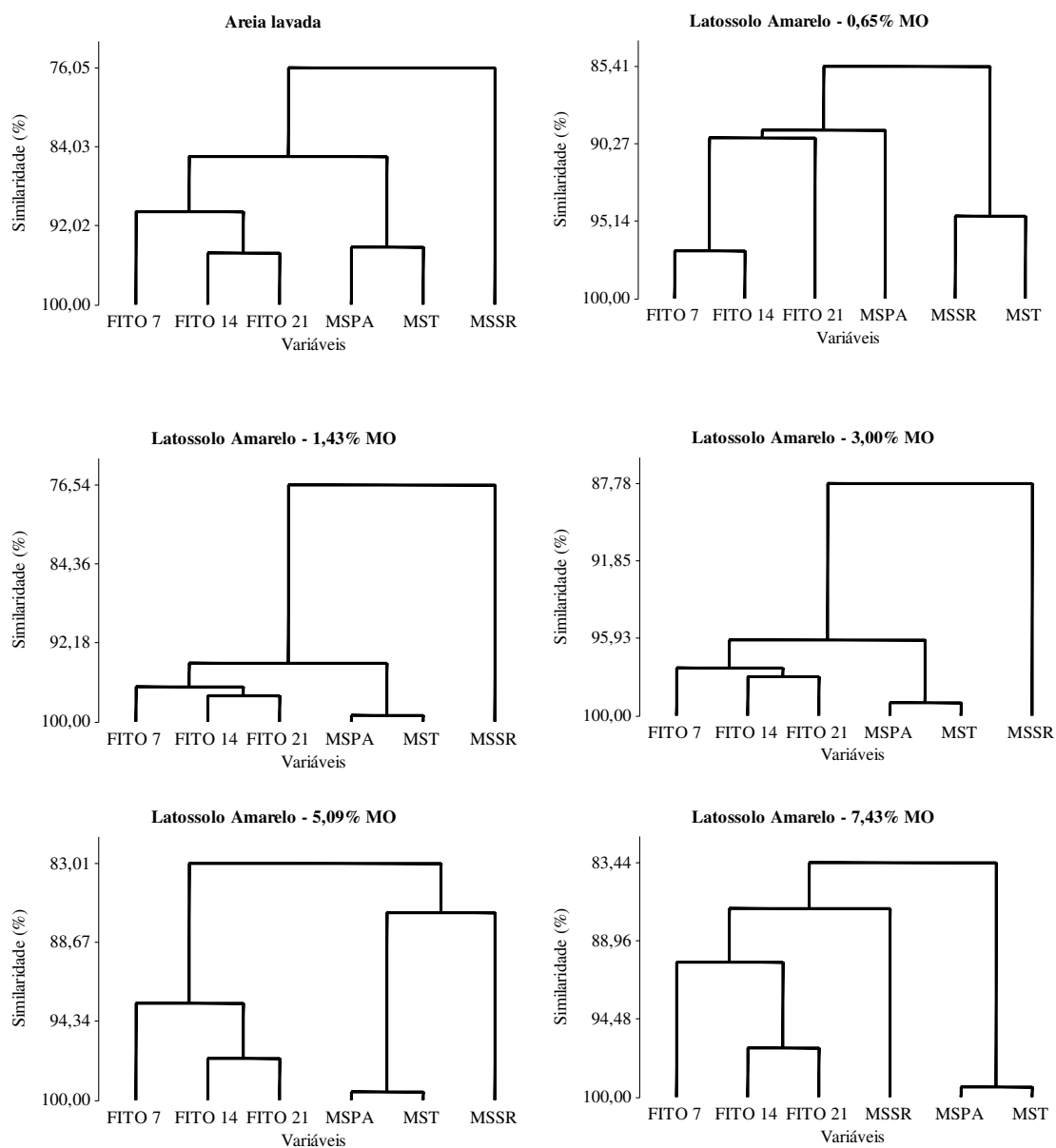


Figura 1. Porcentagem de similaridade entre as variáveis: intoxicação da beterraba aos 7 (FITO 7), 14 (FITO 14) e 21 (FITO 21) dias após a emergência, matéria seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSSR) e total (MST) para os substratos com adição de matéria orgânica no Latossolo Amarelo.

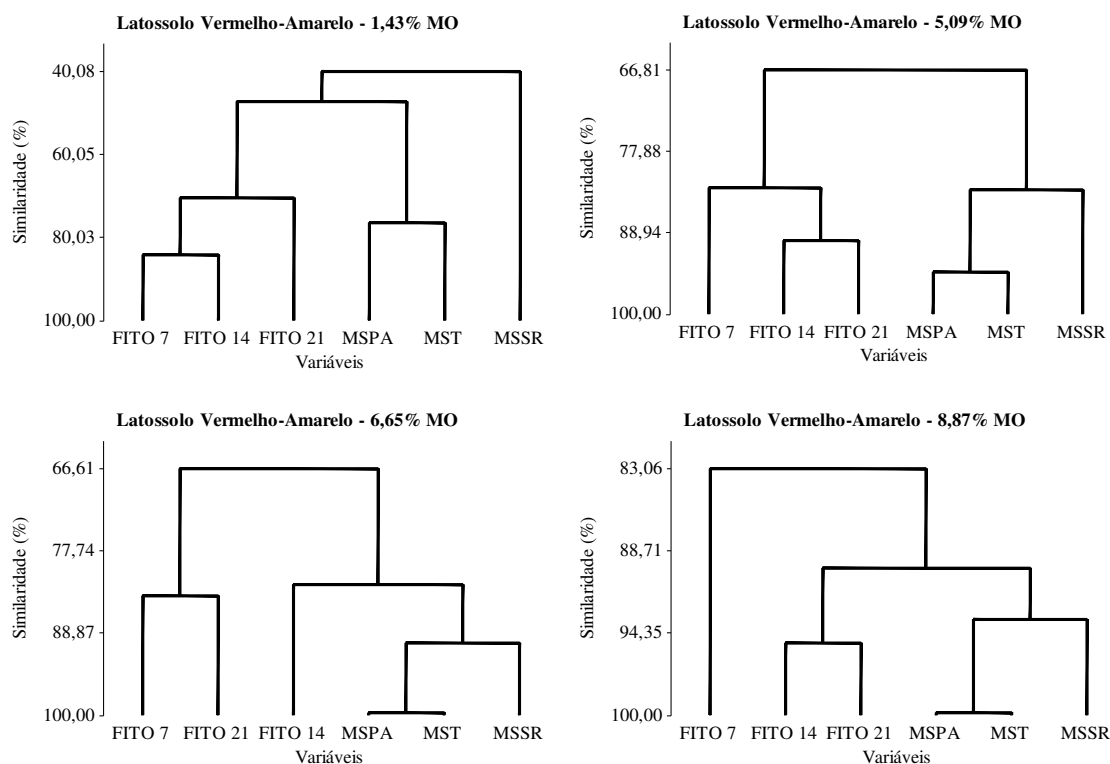


Figura 2. Porcentagem de similaridade entre as variáveis: intoxicação da beterraba aos 7 (FITO 7), 14 (FITO 14) e 21 (FITO 21) dias após a emergência, matéria seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSSR) e total (MST) para os substratos com adição de matéria orgânica no Latossolo Vermelho-Amarelo.

O saflufenacil causa peroxidação das membranas celulares das plantas, ocasionando os mesmos sintomas fitotóxicos que outros herbicidas inibidores da protoporfirinogênio IX oxidase, com murchamento rápido dependente de luz e necrose na parte aérea (Grossmann et al., 2010). Os sintomas causados por esse herbicida puderam ser observados com o incremento das doses, intoxicando as plantas de beterraba cultivadas em amostras de ambos os Latossolos (Figuras 3 e 4). Os maiores valores de intoxicação foram observados na beterraba cultivada no LA com 0,65% de MO, enquanto no LVA com 8,87% de MO proporcionou a menor intoxicação das plantas pelo herbicida.

A intoxicação da beterraba pelo saflufenacil foi influenciada pelo tipo de solo e pelo teor de matéria orgânica (Figuras 3 e 4). Em alguns tratamentos o LA e o LVA apresentaram o mesmo teor de matéria orgânica, a dizer LA2 e LVA1 com 1,43% e LA4 e LVA2 com 5,09% (Tabela 1). Em ambas as situações, a  $C_{50}$  e a RS foram maiores no Latossolo Amarelo (Tabela 3). Curiosamente, o resultado esperado seria o inverso, uma vez que o LVA possui maior teor de argila (Tabela 1) e, possivelmente, maior capacidade de interagir e reter o herbicida. Presume-se que a maior sorção do herbicida no LA2 e

LA4 pode ser devido a maior concentração de potássio nesses solos que nos tratamentos LVA1 e LVA2, respectivamente. Cátions monovalentes, como o  $K^+$ , quando presentes no complexo trocável do solo podem contribuir para a dispersão da argila. Os cátions adsorvidos aos coloides, como o potássio, são mantidos fortemente nas cargas negativas dos solos. Quando a argila é hidratada os cátions tendem a se afastar da superfície da argila aumentando a superfície de contato da mesma (Parameswaran e Sivapullaiah, 2017). A maior superfície de contato da argila do LA2 e LA4 pode ter favorecido o aumento da sorção do saflufenacil nesses solos.

Ademais, não só a quantidade de argila, mas, a qualidade desta, também é um fator importante que pode influenciar o transporte de herbicidas no solo (Mudhoo e Carg, 2011). Neste trabalho não realizou-se análise mineralógica das amostras dos solos, contudo, pode ser que os minerais presentes na argila sejam diferentes nos Latossolos estudados. Os argilominerais podem ser expansíveis ou não-expansíveis, como a montmorilonita e a caulinita, respectivamente (Fushiwaki e Urano, 2001). Isso implica em diferenças da área de superfície desses argilominerais e na sorção dos herbicidas. O picloram e o aminopyralid tiveram maior sorção em montmorilonita do que em caulinita, por apresentar maior expansão e área de superfície específica (Fast et al., 2010). Isso pode explicar a maior sorção do saflufenacil no LA do que no LVA com os mesmos teores de matéria orgânica.

Outra hipótese a ser considerada é que apesar do teor de matéria orgânica ser o mesmo no LA2 e LVA1 (1,43%) e LA4 e LVA2 (5,09%), a proporção de esterco adicionado diferiu nessas amostras de solos, sendo maior no LA2 e LA4, comparativamente (Tabela 1). A presença de esterco pode alterar a qualidade da fração orgânica do solo vindo a influenciar na maior ou menor afinidade do solo pelo herbicida (Salazar-Ledesma et al., 2018). O maior volume de esterco no LA pode aumentar os grupos funcionais contendo oxigênio ( $—COOR$ ,  $—C=O$ ,  $—COR$ ) durante o período de encubação do esterco nas amostras de solos, conforme observado em biocarvão envelhecido (Ren et al., 2018). Esses grupos funcionais podem acarretar em maior sorção do saflufenacil no LA em comparação com o LVA por contribuir com a formação de ligação de hidrogênio entre a matéria orgânica e o herbicida.

O aumento do teor de matéria orgânica nos solos promovido pela adição de esterco bovino acarretou em aumento do pH nos Latossolos (Tabela 1). De forma semelhante,

solos adubados com esterco bovino também apresentaram pH elevado (Das et al., 2017). O aumento do pH do solo pode ser devido a presença de  $\text{CaCO}_3$  no esterco, já que grande parte deste sal é adicionado à dieta do gado (Whalen et al., 2000). A elevação do pH nesses solos poderia diminuir a sorção do saflufenacil, uma vez que esse herbicida se encontraria predominantemente em sua forma aniônica, causando repulsão entre o saflufenacil e os colóides do solo (Ololade et al., 2015). Dessa forma, o saflufenacil ficaria mais presente na solução do solo, estando mais disponível para ser absorvido pelas plantas ou lixiviado. No entanto, o teor de matéria orgânica obtido nas amostras dos solos passou a exercer maior influência que o pH, correlacionando-se positivamente ( $r = 0,92$ ;  $p < 0,05$ ) com a razão de sorção (Tabela 3).

A matéria orgânica aumentou a sorção do saflufenacil e, conseqüentemente, reduziu a biodisponibilidade desse herbicida na solução dos solos com alto teor de matéria orgânica (Tabela 3), corroborando com os resultados encontrados por Hixson (2008), Papiernik et al. (2012) e Mattalo et al. (2014). Com a menor disponibilidade do saflufenacil na solução do solo a eficácia do controle de plantas daninhas por esse herbicida pode ser reduzida quando aplicado em pré-emergência. Doses maiores do saflufenacil foram necessárias para intoxicar as plantas de canola em solos com maiores teores de matéria orgânica (Gannon et al., 2014). Em razão disso, há necessidade de estabelecer a dose do saflufenacil a ser aplicada em cada tipo de solo para se ter a máxima eficiência de controle das plantas daninhas sem contaminar o ambiente.

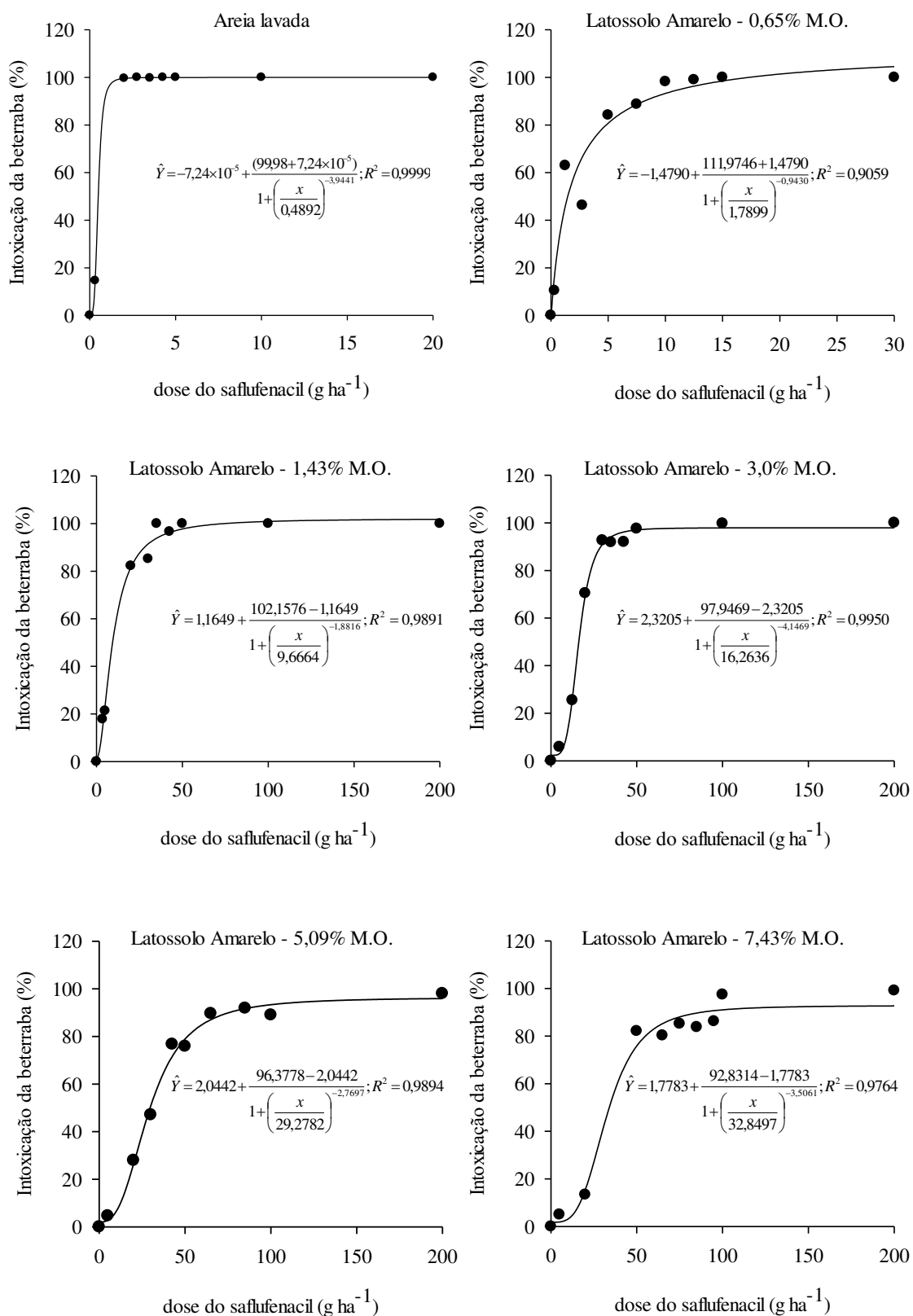


Figura 3. Porcentagem de intoxicação de plantas de beterraba aos 21 dias após a emergência, submetidas a doses crescentes de saflufenacil em areia lavada e diferentes

substratos de Latossolo Amarelo com adição de matéria orgânica.

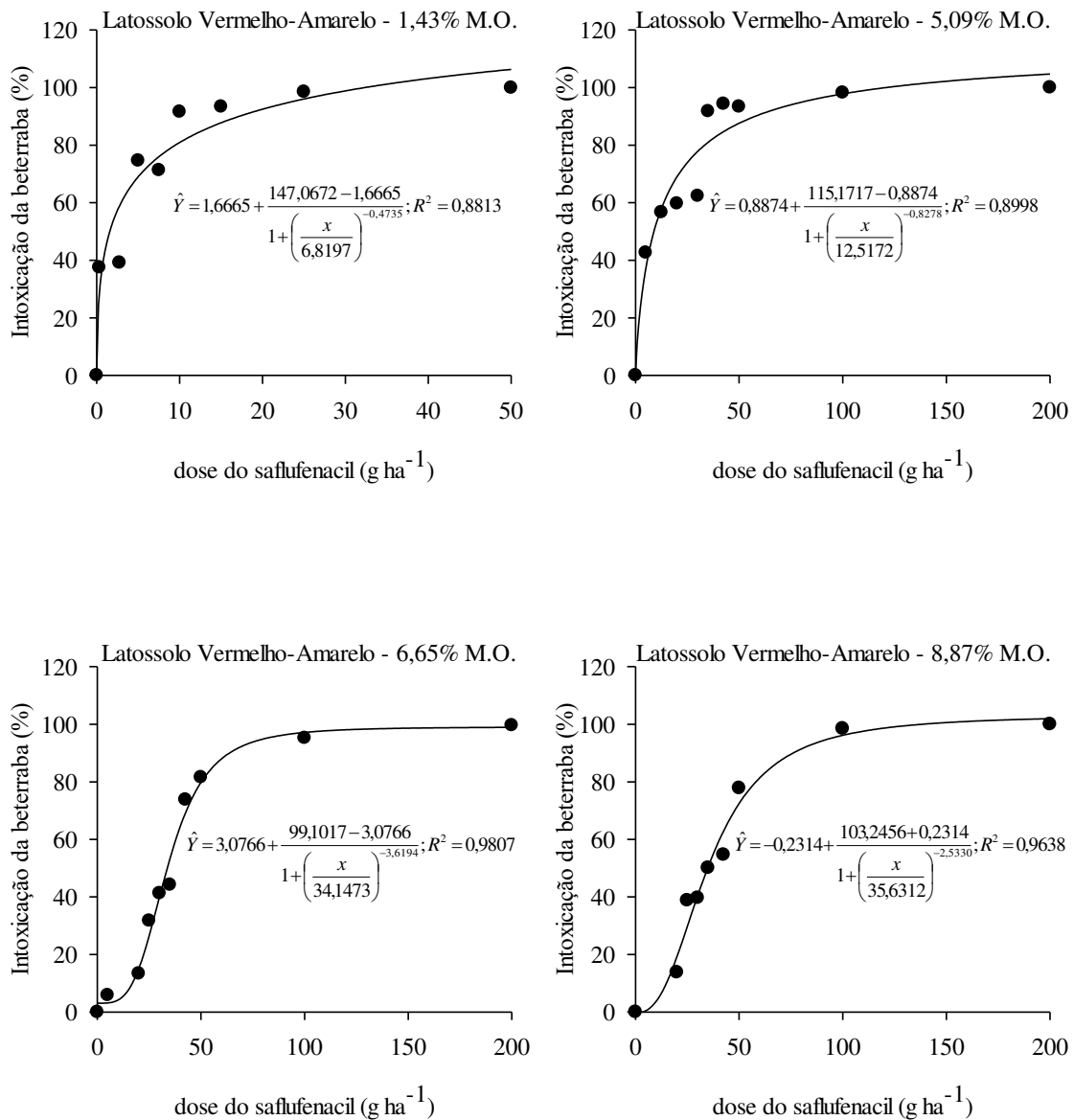


Figura 4. Porcentagem de intoxicação de plantas de beterraba aos 21 dias após a emergência, submetidas a doses crescentes de saflufenacil em diferentes substratos de Latossolo Vermelho-Amarelo com adição de matéria orgânica.

Tabela 3. Doses do saflufenacil que causaram 50% de sintomas de intoxicação nas plantas indicadoras ( $C_{50}$ ) e relação de sorção deste herbicida (RS) nos substratos avaliados

| Substrato <sup>1</sup> | MO (%) | $C_{50}$ (g ha <sup>-1</sup> ) | RS    |
|------------------------|--------|--------------------------------|-------|
| Areia                  | -      | 0,49                           | -     |
| LA1                    | 0,65   | 1,79                           | 2,65  |
| LA2                    | 1,43   | 9,67                           | 18,73 |
| LA3                    | 3,00   | 16,26                          | 32,18 |
| LA4                    | 5,09   | 29,28                          | 58,76 |
| LA5                    | 7,43   | 32,85                          | 66,04 |
| LVA1                   | 1,43   | 6,82                           | 12,92 |
| LVA2                   | 5,09   | 12,51                          | 24,53 |
| LVA3                   | 6,65   | 34,15                          | 68,69 |
| LVA4                   | 8,87   | 35,63                          | 71,71 |

1/ LA1-Latossolo Amarelo 0,65% matéria orgânica; LA2- Latossolo Amarelo 1,43% matéria orgânica; LA3- Latossolo Amarelo 3,0% matéria orgânica; LA4- Latossolo Amarelo 5,09% matéria orgânica; LA5- Latossolo Amarelo 7,43% matéria orgânica; LVA1-Latossolo Vermelho-Amarelo 1,43% matéria orgânica; LVA2-Latossolo Vermelho-Amarelo 5,09% matéria orgânica; LVA3-Latossolo Vermelho-Amarelo 6,65% matéria orgânica; LVA4-Latossolo Vermelho-Amarelo 8,87% matéria orgânica.

### CONCLUSÕES

- Existe correlação positiva entre os teores de matéria orgânica e a sorção do saflufenacil nos solos avaliados;
- As doses do saflufenacil, quando utilizado em pré-emergência em solos com diferentes teores de matéria orgânica, devem ser diferenciadas;
- Aplicação do saflufenacil nos solos avaliados com baixo teor de matéria orgânica pode representar risco ambiental significativo para contaminação do perfil do solo e de corpos de água subterrânea;
- Aplicações em pré-emergência do saflufenacil, em solos com baixo teor de matéria orgânica, seguidas por intensa precipitação pluvial podem ser ineficientes para o controle das plantas daninhas.

## LITERATURA CITADA

ALEKSEEVA, T.; KOLYAGIN, Y.; SANCELME, M.; BESSE-HOGGAN, P. Effect of soil properties on pure and formulated mesotrione adsorption onto vertisol (Limagne plane, Puy-de-Dome, France). **Chemosphere**, v. 111, p. 177-183, 2014.

CHIRUKURI, R.; ATMAKURU, R. Sorption characteristics and persistence of herbicide bispyribac sodium in different global soils. **Chemosphere**, v. 138, p. 932-939, 2015.

DAS, S.; JEONG, S. T.; DAS, S.; KIM, P. J. Composted cattle manure increases microbial activity and soil fertility more than composted swine manure in a submerged rice paddy. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, 2017.

DAVIS, V. M.; KRUGER, G. R.; YOUNG, B. G.; JOHNSON, W. G. Fall and Spring Preplant Herbicide Applications Influence Spring Emergence of Glyphosate-Resistant Horseweed (*Conyza canadensis*). **Weed Technology**, v. 24, p. 11-19, 2010.

DENNIS, M.; HEMBREE, K. J.; BUSHOVEN, J. T.; SHRESTHA, A. Growth stage, temperature, and time of year affects the control of glyphosate-resistant and glyphosate-paraquat resistant *Conyza bonariensis* with saflufenacil. **Crop Protection**, v. 81, p. 129-137, 2016.

EMBRAPA - Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.

EWRC - EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL. Cite of methods in weed research. **Weed Research**, v. 4, p. 88, 1964.

FAOSTAT, 2018 – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Pesticides Use**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>>. Acesso em: 03 de junho de 2018.

FAST, B. J.; FERRELL, J. A.; MACDONALD, G. E.; KRUTZ, L. J.; KLINE, W. N. Picloram and Aminopyralid Sorption to Soil and Clay Minerals. **Weed Science**, v. 58, p. 484-489, 2010.

FUSHIWAKI, Y.; URANO, K. Adsorption of pesticides and their biodegraded products on clay minerals and soils. **Journal Health Science**, v. 47, p. 429–432, 2001.

GANNON, T. W.; HIXSON, A. C.; KELLER, K. E.; WEBER, J. B.; KNEZEVIC, S. Z.; YELVERTON, F. H. Soil Properties Influence Saflufenacil Phytotoxicity. **Weed Science**, v. 62, p. 657–663, 2014.

GROSSMANN, K.; NIGGEWEG, R.; CHRISTIANSEN, N.; LOOSER, R.; EHRHARDT, T. The Herbicide Saflufenacil (Kixor™) is a New Inhibitor of Protoporphyrinogen IX Oxidase Activity. **Weed Science**, v. 58, n 1, p. 1-9, 2010.

HALE, S. E.; ARP, H. P. H.; KUPRYIANCHYK, D.; CORNELISSEN, G. A synthesis of parameters related to the binding of neutral organic compounds to charcoal. **Chemosphere**, v. 144, p. 65-74, 2016.

HIXSON, A. C. **Soil Properties Affect Simazine and Saflufenacil Fate, Behavior, and Performance**. 2008. 226 f. Tese (Doutorado) – North Caroline State University, Raleigh, 2008.

ISLAM, F.; WANG, J.; FAROOQ, M. A.; KHAN, M. S. S.; XU, L.; ZHU, J.; ZHAO, M.; MUÑOS, S.; LI, Q. X.; ZHOU, W. Potential impact of the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on human and ecosystems. **Environment International**, v. 111, p. 332-351, 2018.

KAUR, S.; KAUR, R.; CHAUHAN, B. S. Understanding crop-weed-fertilizer-water interactions and their implications for weed management in agricultural systems. **Crop Protection**, v. 103, p. 65-72, 2018.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons!/ap\\_produto\\_form\\_detalhe\\_cons?p\\_id\\_produto\\_formulado\\_tecnico=9299&p\\_tipo\\_janela=NEW](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons!/ap_produto_form_detalhe_cons?p_id_produto_formulado_tecnico=9299&p_tipo_janela=NEW)>. Acesso em 02 de junho de 2018.

MATALLO, M.B.; FRANCO, D.A.S.; ALMEIDA, S.D.B.; CERDEIRA, A.L. Sorption and desorption of saflufenacil in two soils in the state of são paulo with different physical and chemical attributes. **Planta Daninha**, v. 32, n. 2, p. 393-399, 2014.

MUDHOO, A.; CARG, V. K. Sorption, transport and transformation of atrazine in soils, minerals and composts: a review. **Pedosphere**, v. 21, p. 11-25, 2011.

LOLADE, I. A.; ALOMAJA, F.; OLADOJA, N. A.; LOLADE, O. O.; OLOYE, F. F. Kinetics and isotherm analysis of 2,4-dichlorophenoxy acetic acid adsorption onto soil

components under oxic and anoxic conditions. **Journal of environmental science and health, part b - pesticides food contaminants and agricultural wastes**, v. 50 ed. 7, p. 492-503, 2015.

PAPIERNIK, S. K.; KOSKINEN, W. C.; BARBER, B. L. Low Sorption and Fast Dissipation of the Herbicide Saflufenacil in Surface Soils and Subsoils of an Eroded Prairie Landscape. **Journal Agricultural Food Chemistry**, v. 60, p. 10936–10941, 2012.

PARAMESWARAN, T. G.; SIVAPULLAIAH, P. V. Influence of Sodium and Lithium Monovalent Cations on Dispersivity of Clay Soil. **Journal of materials in civil engineering**, v. 29, ed. 7, 2017.

PASZKO, T. Modeling of pH-dependent adsorption and leaching of MCPA in profiles of Polish mineral soils. **Science of Total Environmental**, v. 495, p. 229-240, 2014.

PASZKO, T.; MUSZYŃSKI, P.; MATERSKA, M.; BOJANOWSKA, M.; KOSTECKA, M.; JACKOWSKA, I. Adsorption and degradation of phenoxyalkanoic acid herbicides in soils: a review. **Environmental Toxicol. Chemistry**, v. 35, n. 2, p. 271, 2016.

RAMESH K., MATLOOB A., ASLAM F., FLORENTINE S., CHAUHAN B. S. Weeds in a changing climate: vulnerabilities, consequences, and implications for future weed management. **Frontier Plant Science**, 8:95, 2017.

REN, X.; WANG, F.; ZHANG, P.; GUO, J.; SUN, H. Aging effect of minerals on biochar properties and sorption capacities for atrazine and phenanthrene. **Chemosphere**, v. 206, p. 51-58, 2018.

SALAZAR-LEDESMA, M.; MORA, L.; CHÁVEZ, B.; GÓMEZ, D.; ZAMORA, O.; PRADO, B. Susceptibilidad del suelo al impacto humano: caso del herbicida atrazina. **Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana**, v. 70, n. 1, p. 95-119, 2018.

SEEFELDT, S. S.; JENSEN, S. E.; FUERST, E. P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationship. **Weed Technology**, v. 9, n. 2, p. 218-227, 1995.

SOUZA, A. P. Atividade de oxyfluorfen, 2,4-D e glifosate em solos de diferentes texturas na presença e na ausência de composto orgânico. Viçosa - MG, UFV. (Dissertação de mestrado), 71p. 1994.

SOUZA, F.L.; LLANOS, J.; SAEZ, C.; LANZA, M.R.V.; RODRIGO, M.A.; CANIZARES, P. Performance of Wind-Powered Soil Electroremediation Process for the Removal of 2,4-D from Soil. **Journal Environmental Management**, v. 171, p. 128–132, 2016.

UMPHRES, A. M.; STECKEL, L. E.; MUELLER, T. C. Control of Protoporphyrinogen Oxidase Inhibiting Herbicide Resistant and Susceptible Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) with Soil-Applied Protoporphyrinogen Oxidase–Inhibiting Herbicides. **Weed Technology**, v. 32, n. 1, p. 95-100, 2018.

WAUCHOPE, R.D.; YEH, S.; LINDERS, J.B.H.J.; KLOSKOWSKI, R.; TANAKA, K.; RUBIN, B.; UNSWORTH, J. B. Pesticide soil sorption parameters: theory, measurement, uses, limitations and reliability. **Pest Management Science**, v. 58, p. 419–445, 2002.

WHALEN, J. K.; CHANG, C.; CLAYTON, G. W.; CAREFOOT, J. P. Cattle Manure Amendments Can Increase the pH of Acid Soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 64, p. 962–966, 2000.

## **INFLUÊNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA NA LIXIVIAÇÃO DO SAFLUFENACIL EM LATOSSOLOS**

**Resumo** – O saflufenacil, registrado a pouco no Brasil, já é muito utilizado como alternativa no manejo de plantas resistentes a diversos herbicidas. A sua aplicação tem sido realizada sem o conhecimento prévio de suas interações com os coloides dos solos. Isto aumenta os riscos de contaminação ambiental decorrentes do uso desse herbicida nas diferentes condições de solo e clima. A matéria orgânica é um dos atributos do solo que influencia a dinâmica de herbicidas no ambiente. Em razão disso, neste trabalho foi estimada a lixiviação do saflufenacil em amostras de Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo, com diferentes teores de matéria orgânica. Após a aplicação do herbicida no topo das colunas de PVC, estas foram submetidas a uma precipitação pluvial de 60 mm. Para a avaliação do saflufenacil, amostras dos substratos foram coletadas em dez profundidades (espaçadas de 5 cm) da coluna. Nessas amostras foram cultivadas plantas de beterraba para detectar a presença do saflufenacil no solo. As variáveis analisadas foram notas de intoxicação que o herbicida causou nas plantas avaliadas aos 7, 14 e 21 dias após a emergência (DAE). O acúmulo de matéria seca da parte aérea, raiz e total das plantas foi avaliado aos 21 DAE. Os sintomas de intoxicação nas plantas indicadoras em camadas de solo mais profundas foram menores com o incremento de matéria orgânica. Concluiu-se que em ambos os solos avaliados existe relação inversa entre o teor de matéria orgânica e a lixiviação do herbicida nos solos contidos nas colunas.

**Palavras-chave:** Herbicida, mobilidade, impacto ambiental.

## **INFLUENCE OF ORGANIC MATTER IN LEACHING OF SAFLUFENACIL IN FERRALSOLS**

**Abstract** – Saflufenacil, recently registered in Brazil, is used as an alternative for the management of plants resistant to various herbicides. The application of saflufenacil has been carried out without previous knowledge of interactions with soil colloids, which increases the environmental risks contamination due to the use of this herbicide in different soil and climate conditions. Here, we estimated the leaching of saflufenacil in samples of Xanthic Ferralsol and Ferralsol with different organic matter contents. After application of the herbicide to the top of the columns of PVC, they were subjected to a rainfall of 60 mm. For the evaluation of saflufenacil, samples of the substrates were collected in ten depths (spaced at 5 cm) of the column. In these samples the beetsugar was cultivated as a species indicative of the presence of saflufenacil in the soil. The variables evaluated were intoxication notes at 7, 14 and 21 DAE and dry matter of shoot, root and total plants. The symptoms of intoxication in the indicator plants in soil deep layers were smaller with the increase of organic matter. We verified that for both evaluated soils there is an inverse relation between the content of organic matter and the leaching of the herbicide in soils.

**Keywords:** Herbicide, mobility, environmental impact.

## INTRODUÇÃO

O controle químico de plantas daninhas é eficiente, de baixo custo e por esta razão é o método mais utilizado por pequenos e grandes produtores (Fartyal et al., 2018). Entretanto, aplicações de herbicidas sem o conhecimento das interações de suas moléculas com a matriz dos solos pode resultar em sérios problemas ambientais, tais como a contaminação do solo e dos corpos de água superficiais e subterrâneos (Zhang et al., 2013; Van Stempvoort et al., 2014; Santos et al., 2015; Silva et al., 2016). Isso torna-se ainda mais importante quando se considera que a dinâmica dos herbicidas no ambiente varia com os atributos dos solos e com as condições climáticas (De Gerónimo et al., 2018; Jiang et al., 2018).

O saflufenacil {2-chloro-4-fluoro-5-[3-methyl-2,6-dioxo-4-(trifluoromethyl)pyrimidin-1-yl]-N-[methyl(propano-2-yl)sulfamoyl]benzamide} é um herbicida recomendado para uso em pré ou pós-emergência das plantas daninhas nas principais culturas agrícolas do país no controle de espécies eudicotiledôneas (MAPA, 2018). Por se tratar de um herbicida derivado de ácido fraco ( $pK_a = 4,4$ ), a tendência é que sua molécula em solos agrícolas com valores de pH próximo a neutralidade fique na forma iônica, portanto, com maior disponibilidade na solução do solo (Ololade et al., 2015).

Todavia, outros atributos do solo, como o teor de matéria orgânica, também podem afetar a sorção do herbicida no solo, influenciando desse modo a sua disponibilidade para absorção pelas plantas e o seu potencial de movimentação no perfil do solo (Ertli et al., 2004; Paszko et al., 2016). Esta hipótese é comprovada por Senesi (1992) e Gevaio et al. (2000) os quais afirmam que os herbicidas de caráter ácido podem interagir com os grupamentos  $-COOH$  e  $-COOR$  da matéria orgânica do solo pela ligação de hidrogênio em formas não-iônicas da molécula. No caso, o saflufenacil possui em sua molécula átomos de flúor, nitrogênio e oxigênio, o que aumenta a possibilidade da molécula ficar adsorvida na matéria orgânica em solos com valores de pH abaixo do seu  $pK_a$ . Adicionalmente, vários fatores podem influenciar as ligações de herbicidas no solo, como por exemplo, modo de aplicação do herbicida nos solos, dose, tempo de contato da molécula com o solo, uso de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, entre outros (Gevaio et al., 2000). Muitas das vezes, a fração orgânica do solo é a principal responsável pela retenção dos herbicidas nesse substrato, porém é difícil elucidar o mecanismo pelo

os quais os mesmos são incorporados nessa fração, devido à natureza complexa e heterogênea da mesma (Gevao et al., 2000).

A lixiviação de herbicidas é diretamente relacionada à eficiência de controle das plantas daninhas, cujas sementes estão distribuídas em camadas subsuperficiais do solo, e ao risco de contaminação ambiental (Pereira et al., 2017). Dessa forma, a mobilidade moderada de herbicidas no perfil do solo é necessária para o controle eficiente do banco de sementes presentes em maiores profundidades (Inoue et al., 2015). No entanto, a lixiviação excessiva do herbicida pode contaminar corpos de água subterrâneos.

Herbicidas aplicados em solos com elevados teores de matéria orgânica tendem a lixiviar menos (López-Piñeiro et al., 2013; Tejada e Benítez, 2017; Marín-Benito et al., 2018, Mendes et al., 2018). A aplicação de maiores doses de saflufenacil foi necessária para inibir o desenvolvimento de canola, pois o aumento do teor de matéria orgânica do solo diminui a biodisponibilidade e a lixiviação desse herbicida no solo (Gannon et al., 2014). É provável que o acréscimo de matéria orgânica em solos tropicais limite a lixiviação do saflufenacil devido ao aumento das interações químicas entre a molécula herbicida e as cargas do solo. No entanto, pouco se sabe sobre o comportamento desse herbicida em solos de regiões de clima tropical e de como as propriedades desses solos podem influenciar a dinâmica desse herbicida. Na busca desse conhecimento foi realizado este trabalho visando conhecer a importância da matéria orgânica em influenciar a lixiviação do saflufenacil no perfil de Latossolos amplamente cultivados com culturas de grande interesse econômico no Brasil.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os solos utilizados neste trabalho foram um Latossolo Amarelo (LA) e um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) dos municípios de Três Marias-MG e Viçosa-MG, respectivamente. As amostras dos solos foram coletadas na camada superficial de 0 a 20 cm e, posteriormente, encubadas com esterco bovino por um período de 30 dias nas seguintes proporções (v:v): 0:1; 0,25:1; 0,5:1; 0,75:1 e 1:1 L de matéria orgânica L<sup>-1</sup> de solo. Em seguida foram secas ao ar e desintegradas em peneira com malha de 4 mm. Os substratos foram submetidos a análises química e física. Dessa forma, foram caracterizados os tratamentos que consistiram de LA e LVA com cinco diferentes teores de matéria orgânica (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos e físicos dos tratamentos: Latossolo Amarelo (LA) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) encubados com diferentes quantidades de esterco bovino

| Solos                             | Tratamento | Esterco:Solo<br>(v:v) | MO<br>% | pH<br>(H <sub>2</sub> O) | P<br>-----mg dm <sup>-3</sup> ----- | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | H+Al | A. grossa A. fina Silte Argila |      |      |      |
|-----------------------------------|------------|-----------------------|---------|--------------------------|-------------------------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------|--------------------------------|------|------|------|
|                                   |            |                       |         |                          |                                     |                |                  |                  |                  |      | -----%-----                    |      |      |      |
| Latossolo<br>Amarelo              | LA1        | 0:1                   | 0,65    | 4,98                     | 0,30                                | 9,00           | 0,13             | 0,04             | 0,20             | 2,1  | 20,1                           | 57,2 | 3,4  | 19,3 |
|                                   | LA2        | 0,25:1                | 1,43    | 6,16                     | 46,80                               | 408,00         | 1,84             | 1,15             | 0,00             | 1,1  | 18,5                           | 58,9 | 3,7  | 18,8 |
|                                   | LA3        | 0,5:1                 | 3,00    | 6,80                     | 161,20                              | 887,00         | 3,26             | 2,11             | 0,00             | 0,5  | 17,6                           | 57,7 | 5,3  | 19,5 |
|                                   | LA4        | 0,75:1                | 5,09    | 7,21                     | 348,90                              | 1386,00        | 4,45             | 3,36             | 0,00             | 0,3  | 19,8                           | 53,8 | 4,5  | 21,9 |
|                                   | LA5        | 1:1                   | 7,43    | 7,33                     | 612,30                              | 2292,00        | 4,65             | 3,80             | 0,00             | 0,5  | 24,6                           | 45,9 | 7,6  | 21,9 |
| Latossolo<br>Vermelho-<br>Amarelo | LVA1       | 0:1                   | 1,43    | 4,97                     | 8,90                                | 21,00          | 0,52             | 0,13             | 0,99             | 4,1  | 18,6                           | 8,5  | 13,6 | 59,3 |
|                                   | LVA2       | 0,25:1                | 2,87    | 5,47                     | 59,20                               | 448,00         | 2,78             | 1,57             | 0,00             | 2,9  | 17,9                           | 8,9  | 14,1 | 59,1 |
|                                   | LVA3       | 0,5:1                 | 5,09    | 6,09                     | 171,60                              | 967,00         | 4,73             | 2,91             | 0,00             | 1,8  | 17,8                           | 8,9  | 10,8 | 62,5 |
|                                   | LVA4       | 0,75:1                | 6,65    | 6,55                     | 297,10                              | 1625,00        | 6,29             | 4,10             | 0,00             | 1,3  | 18,2                           | 9,4  | 14,3 | 58,1 |
|                                   | LVA5       | 1:1                   | 8,87    | 6,95                     | 434,50                              | 2173,00        | 6,89             | 4,92             | 0,00             | 0,5  | 19,6                           | 10   | 14,8 | 55,7 |

Análises realizadas no Laboratório de Análises de Solo da Universidade Federal de Viçosa, segundo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1997); MO = matéria orgânica.

Foram realizados dois experimentos, um para o LA e outro para o LVA. O delineamento experimental adotado em ambos os experimentos foi o inteiramente casualizado no esquema fatorial 5 x 10, com três repetições, sendo o primeiro fator constituído pelos níveis de matéria orgânica em cada solo e o segundo fator as dez profundidades de coletas das amostras de solo nas colunas, 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45 e 45-50 cm, além das testemunhas para cada solo em que não houve aplicação do herbicida.

As amostras dos solos foram acondicionadas em colunas de PVC de 10 cm de diâmetro por 50 cm de comprimento previamente preparadas que consistiu no tratamento das paredes internas das colunas com parafina. As colunas tiveram a base inferior revestida por tela tipo “clarite” fixada em um tampão de PVC perfurado, o que permitiu o fluxo ascendente da água e a drenagem do excesso da mesma, além de evitar a perda de solo. Após o preenchimento com as amostras de solo, as colunas foram submetidas à uma caixa de amianto contendo uma lâmina de água com 80% da altura da coluna, por um período de 18 horas, a fim de saturar o solo contido na coluna. O umedecimento do solo ocorre de baixo para cima, evitando a formação de bolhas de ar presas nos poros. Posteriormente as colunas foram deixadas na posição vertical em repouso por 72 horas para a drenagem do excesso de água até o solo atingir a capacidade de campo. Em seguida, utilizando um pulverizador de alta precisão foi aplicado o saflufenacil na dose de 100 g ha<sup>-1</sup>, no topo das colunas. O produto comercial do saflufenacil utilizado foi o Heat<sup>®</sup>. A dose utilizada corresponde a máxima recomendada para a aplicação em pré-emergência no controle de plantas daninhas nas culturas registradas (MAPA, 2018).

Doze horas após a aplicação do herbicida, com as colunas ainda na posição vertical, realizou-se simulação de chuva com a aplicação de uma lâmina de 60 mm de água. A chuva foi aplicada utilizando um aparelho desenvolvido para este fim (Silva, 1989) (Figura 1). O volume aplicado foi aferido utilizando-se pluviômetros acoplados à parede lateral das colunas. As colunas permaneceram por 48 horas na posição vertical para drenagem do excesso de água remanescente. Em seguida, as colunas foram seccionadas a cada 5 cm. Amostras dos substratos contidas em cada seção das colunas foram transferidas para vasos com capacidade de 0,3 dm<sup>3</sup>, sendo semeadas cinco sementes da espécie indicadora, beterraba (*Beta vulgaris* L.). Logo após a emergência das plântulas, realizou-se o desbaste, mantendo-se três plântulas por vaso.

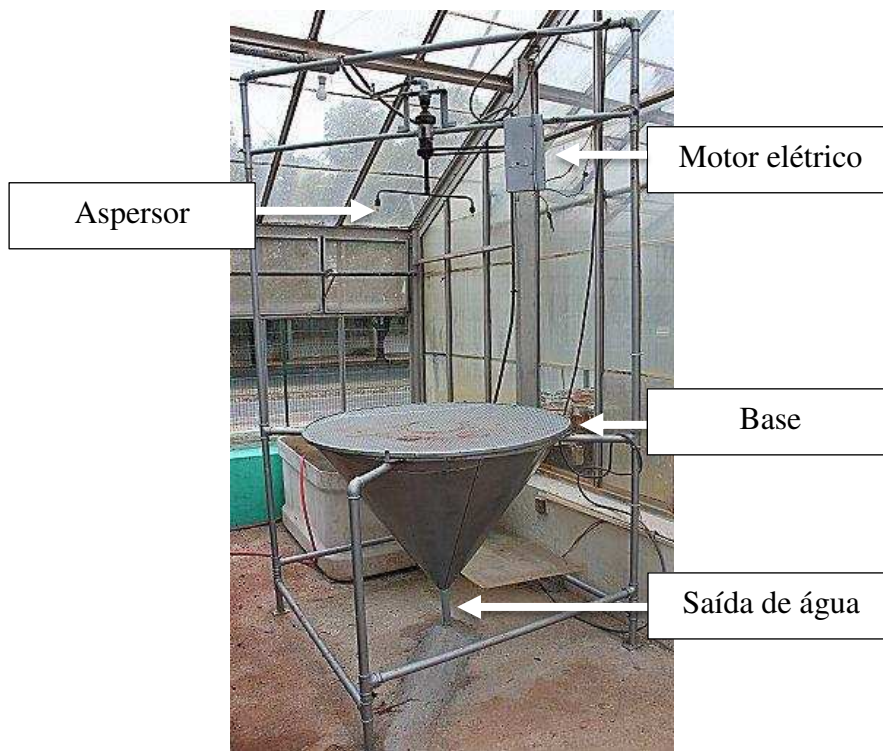


Figura 1 – Aparelho utilizado para simular a precipitação pluvial.

A lixiviação do herbicida nas colunas de solo foi determinada por método indireto avaliando-se o índice de intoxicação da planta indicadora aos 7, 14 e 21 dias após a emergência das plântulas (DAE). Na avaliação visual do índice de intoxicação da planta indicadora foram atribuídas notas de acordo com escala da EWRC (1964), modificada, em uma escala de 0 (ausência de intoxicação) a 100 (morte da planta).

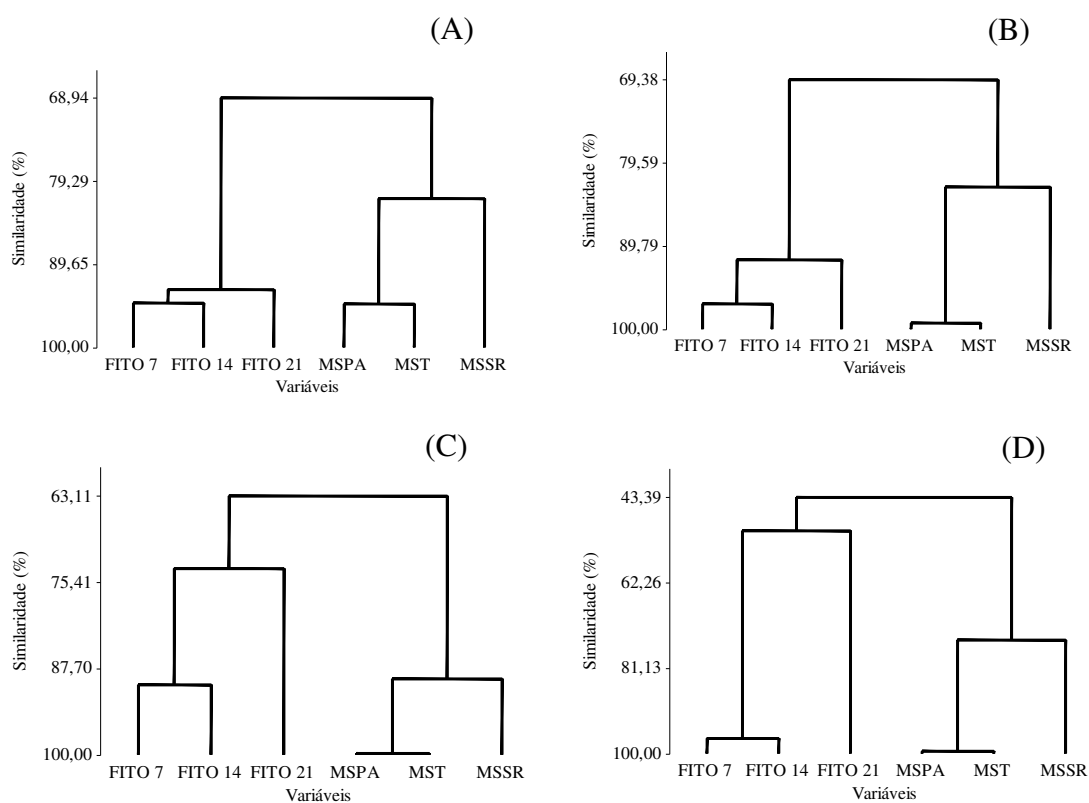
Aos 21 DAE as plantas foram colhidas e cortadas rente ao solo e acondicionadas em sacos de papel, sendo posteriormente mantidas em estufa de circulação forçada de ar ( $70 \pm 2$  °C), até atingirem peso constante. Posteriormente, determinou-se a massa da matéria seca da parte aérea, raiz e total das plantas em balança de precisão analítica (0,0001 g).

Os dados de porcentagem de intoxicação aos 7, 14 e 21 dias após a emergência das plantas, acúmulo de matéria seca da parte aérea, matéria seca da raiz e matéria seca total da beterraba foram submetidas à análise multivariada para determinar a porcentagem de similaridade entre essas variáveis. Essa análise baseou-se na correlação absoluta entre variáveis. Os valores de intoxicação das plantas (FITO 7, FITO 14 e FITO 21), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSSR) e matéria seca total das plantas (MST) foram expressos em porcentagem em relação a testemunha (sem aplicação do

herbicida). As médias dos dados foram apresentadas com seus respectivos desvios-padrão para observação da capacidade de mobilidade do saflufenacil pelos diferentes substratos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis porcentagem de intoxicação aos 7, 14 e 21 dias após a emergência das plantas e matéria seca da parte aérea, matéria seca da raiz e matéria seca total são semelhantes pela análise multivariada de porcentagem de similaridade das amostras dos solos utilizados (Figuras 2 e 3). Dentre os substratos com diferentes teores de matéria orgânica no Latossolo Amarelo, apenas o substrato com maior teor de matéria orgânica apresentou baixa similaridade entre as variáveis (Figura 2 E). No Latossolo Vermelho-Amarelo observa-se mais substratos que apresentaram baixa similaridade entre as variáveis (Figura 3). A baixa similaridade entre as variáveis ocorrida em alguns substratos pode ser devido às notas de intoxicação aos sete dias após a emergência, pois nessa época os sintomas ainda estão aumentando. Ou seja, essa variável apresentou uma correlação baixa com as demais que foram avaliadas em estágio mais avançado das plantas. Assim, optou-se por apresentar somente a variável porcentagem de intoxicação aos 21 dias após a emergência das plantas para representar as demais variáveis.



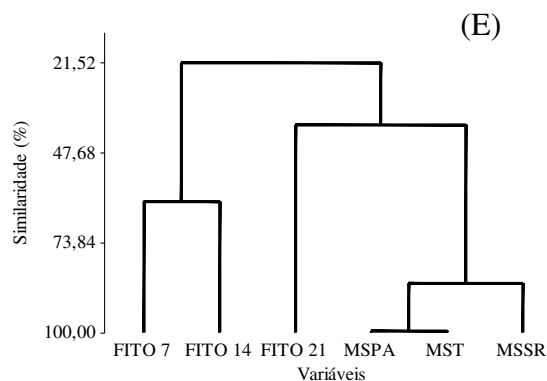
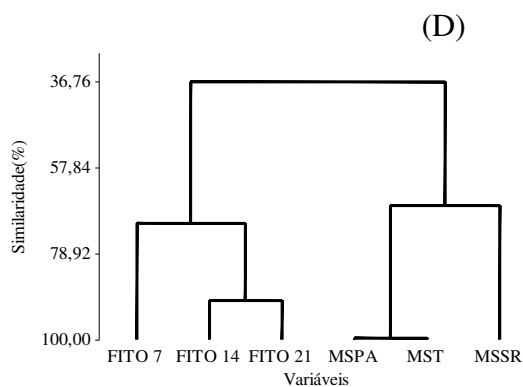
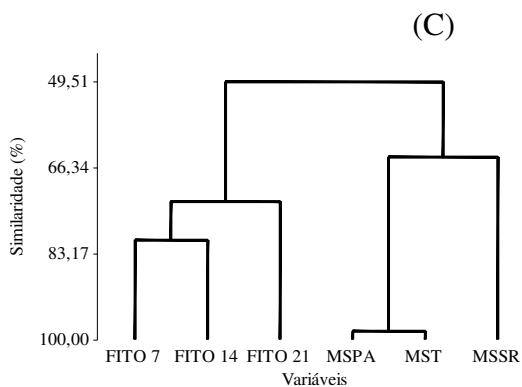
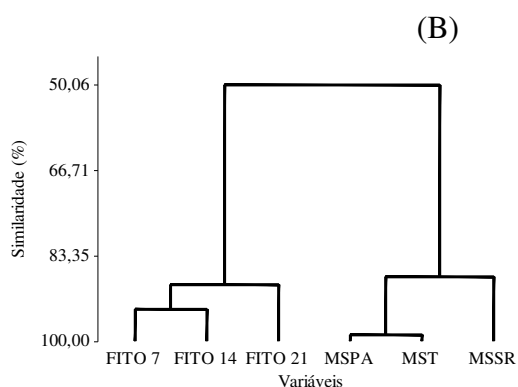
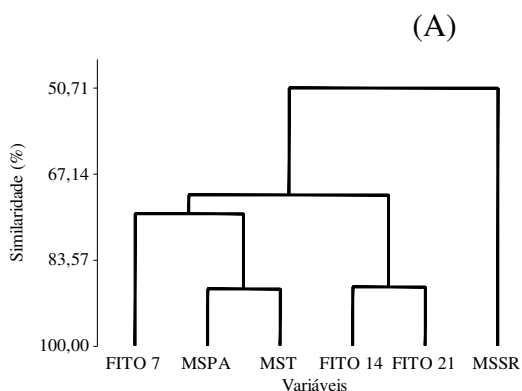


Figura 2. Porcentagem de similaridade entre as variáveis: intoxicação da beterraba aos 7 (FITO 7), 14 (FITO 14) e 21 (FITO 21) dias após a emergência, matéria seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSSR) e total (MST) para o Latossolo Amarelo com (A) 0,65%, (B) 1,43%, (C) 3,0%, (D) 5,09 % e (E) 7,43% de matéria orgânica.



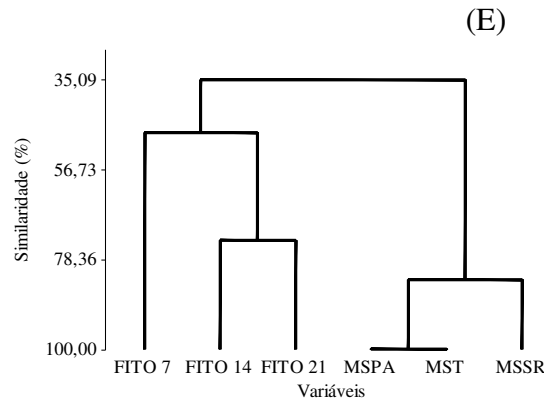


Figura 3. Porcentagem de similaridade entre as variáveis: intoxicação da beterraba aos 7 (FITO 7), 14 (FITO 14) e 21 (FITO 21) dias após a emergência, matéria seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSSR) e total (MST) para o Latossolo Vermelho-Amarelo com (A) 1,43%, (B) 2,87%, (C) 5,09%, (D) 6,65 % e (E) 8,87% de matéria orgânica.

Observou-se sintomas de intoxicação nas plantas de beterraba até na profundidade de 45-50 cm da coluna na amostra do Latossolo Amarelo com menor teor de matéria orgânica (Figura 4 A e Figura 6). Com o aumento do teor de matéria orgânica o herbicida ficou retido nas primeiras camadas do perfil do solo. As amostras do LA2 e LA3 apresentaram sintomas em torno de 10% e 40% nas profundidades de 25-30 cm e 20-25 cm, respectivamente (Figura 4 B e C). O LA4 e o LA5 apresentaram sintomas de intoxicação nas plantas de beterraba nas profundidades de 20-25 cm e 30-40 cm, respectivamente (Figura 4 D e E). Apesar dos sintomas de intoxicação nas plantas de beterraba cultivadas em solos coletados nessas profundidades, a porcentagem de intoxicação foi inferior a 5%.

A maior lixiviação do saflufenacil no LA1 (sem adição de estercos) é corroborada com o estudo de Hixson (2008). O autor utilizou solos com características físicas e químicas muito semelhante ao deste estudo. Semelhantemente, o sulfentrazone, herbicida de caráter ácido fraco, pertencente ao mesmo mecanismo de ação do saflufenacil, lixiviou até 50 cm em Planossolo Háptico e, até 45 cm em Neossolo Quartzarênico após chuva simulada de 60 mm (Passos et al., 2015; Braga et al., 2016). Essa alta lixiviação foi atribuída aos baixos teores de matéria orgânica e argila em ambos os solos, assim como neste trabalho (Tabela 1). Baixo teor desses atributos no solo diminui a quantidade dos sítios de ligação que o herbicida pode interagir e, conseqüentemente, aumenta a lixiviação da molécula (Vivian et al., 2007).

Braga et al. (2016) relataram presença do sulfentrazone em Cambissolo até na profundidade de 15-20 cm. Este solo possui textura e teor de matéria orgânica

semelhantes ao LA3, corroborando com os dados obtidos neste experimento, onde se detectou a presença do saflufenacil até a camada de 20-25 cm.

O LVA1 apresentou valores altos de intoxicação até a profundidade de 30-35 cm. Na profundidade de 35-40 cm o sintoma apresentado foi de apenas 5% (Figura 5 A e Figura 7). Com o aumento da matéria orgânica no Latossolo Vermelho-Amarelo o herbicida tendeu a ficar mais sorvido no solo. O saflufenacil lixiviou até a profundidade 25-30 cm no LVA2, causando cerca de 20% de intoxicação nesta profundidade (Figura 5 B). As plantas cultivadas no LVA3 não chegaram a morrer em nenhuma das profundidades. A maior intoxicação ocorreu na profundidade de 15-20 cm, em torno de 60% de injúria. A espécie indicadora foi afetada pelo herbicida até na profundidade de 30-35 cm. No entanto, os sintomas de intoxicação nessas plantas foram inferiores a 5% (Figura 5 C). Nos demais substratos, a lixiviação do saflufenacil foi baixa (Figura 5 D e E), sendo observada baixa intoxicação da beterraba apenas nas camadas superficiais do solo e nenhuma injúria nas camadas mais profundas, evidenciando alta retenção do saflufenacil nas camadas superficiais em LVA com alto teor de matéria orgânica.

Resultados de pesquisa realizada por Monquero et al. (2012) confirmam a lixiviação do saflufenacil até a profundidade de 20-25 cm no perfil de Latossolo Vermelho-Amarelo, sob precipitação pluvial simulada de 40 mm. No entanto, em um Latossolo Vermelho distrófico o herbicida lixiviou apenas até 15 cm. Os autores concluíram que a menor lixiviação no Latossolo Vermelho distrófico foi devido ao maior teor de argila nesse solo. Solos com maior teor de argila tendem a reter o herbicida e este lixiviar menos. Porém, apesar de o LVA apresentar maior teor de argila que o LA, em uma mesma condição de teor de matéria orgânica (1,43% no LVA1 e LA2), o saflufenacil lixiviou mais no LVA1 do que no LA2. Isso pode ter ocorrido porque o LA2 tinha mais potássio no solo (Tabela 1). O  $K^+$  quando presente no complexo trocável do solo pode aumentar a superfície de contato pela dupla camada difusa da argila (Parameswaran e Sivapullaiah, 2017). Dessa forma, o saflufenacil pode ter sido retido com maior intensidade no LA2 e por isso, ter sido menos móvel na coluna de solo. O transporte de herbicidas no solo pode ser influenciado não apenas pela quantidade de argila, mas também, pela qualidade da mesma (Mudhoo e Carg, 2011).

A menor lixiviação no LA2 em relação ao LVA1 também pode ser devido a maior proporção de esterco no LA. O maior volume de esterco pode aumentar os grupos

funcionais contendo oxigênio ( $-\text{COOR}$ ,  $-\text{C}=\text{O}$ ,  $-\text{COR}$ ) durante o período de encubação com as amostras de solos, conforme observado em biocarvão envelhecido (Ren et al., 2018). Esses grupos funcionais podem acarretar em maior sorção do saflufenacil no LA em comparação com o LVA por contribuir com a formação de ligação de hidrogênio entre a matéria orgânica e o herbicida.

Nas amostras dos solos com adição de matéria orgânica, o saflufenacil lixiviou de forma semelhante em ambos os solos, Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo. Todavia, nos substratos de ambos os solos sem adição de matéria orgânica (Figura 4 A e 5 A), constatou-se a presença do herbicida na maior profundidade da coluna no Latossolo Amarelo, mostrando maior movimentação do saflufenacil no perfil do solo com menor teor de argila e matéria orgânica (Figura 4 A).

O aumento do teor de matéria orgânica, tanto no LA quanto no LVA, reduziu a intoxicação das plantas de beterraba pelo saflufenacil (Figuras 4 e 5). O acréscimo de matéria orgânica aumentou a sorção do saflufenacil nos solos (veja capítulo 1) e, conseqüentemente, diminuiu a lixiviação deste produto. Resultados de trabalhos têm demonstrado a importância da matéria orgânica nas interações físico-químicas entre herbicidas e o solo (Stipičević et al. 2014; Faria et al., 2018; Martins et al., 2018).

A alta sorção do saflufenacil nas primeiras camadas dos solos com alto teor de matéria orgânica (Figuras 4 e 5) pode reduzir a eficiência no controle do banco de sementes de certas plantas daninhas que estejam em maiores profundidades. Sementes viáveis de *Euphorbia davidii* foram encontradas até a profundidade de 15-20 cm em solos da Argentina (Núñez Fré et al., 2014), assim como gêneros de *Ipomoea* e *Merremia* que germinaram aos 20 cm de profundidade do solo (Orzari et al., 2013). Para espécies como essas, é interessante que ocorra certo grau de lixiviação do herbicida no manejo de plantas daninhas em maiores profundidades. Contudo, alta lixiviação do herbicida pode atingir corpos d'água subterrâneo (Silva et al., 2016; Salazar-Ledesma et al., 2018), sendo necessário haver um equilíbrio entre a lixiviação visando o controle do banco de sementes de plantas daninhas sem contaminar o lençol freático.

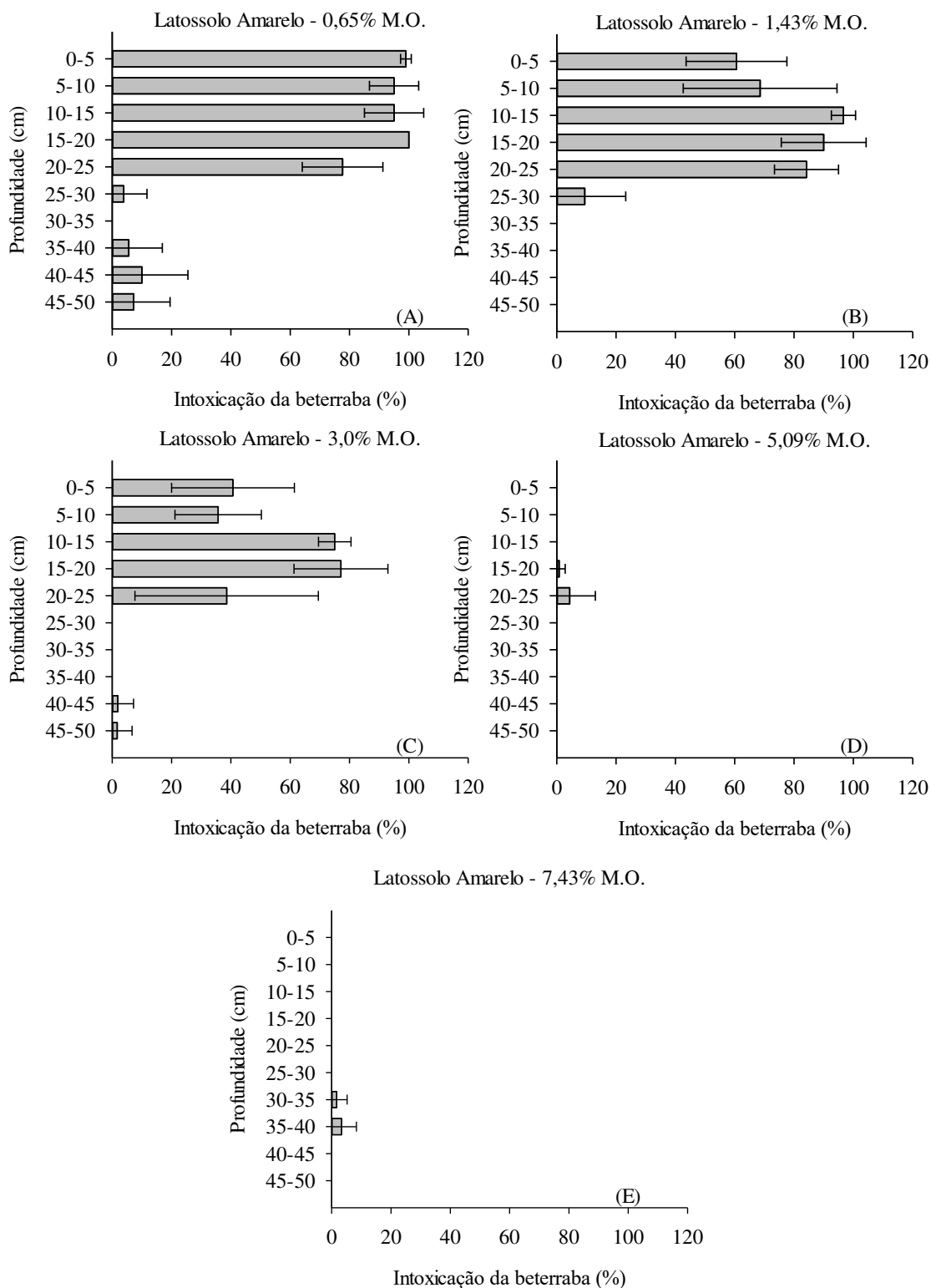


Figura 4. Lixiviação do saflufenacil em colunas preenchidas com Latossolo Amarelo com (A) 0,65%, (B) 1,43%, (C) 3,0%, (D) 5,09% e (E) 7,43% de matéria orgânica e submetidas a chuva de 60 mm avaliada aos 21 dias após a emergência da planta indicadora (*Beta vulgaris*).

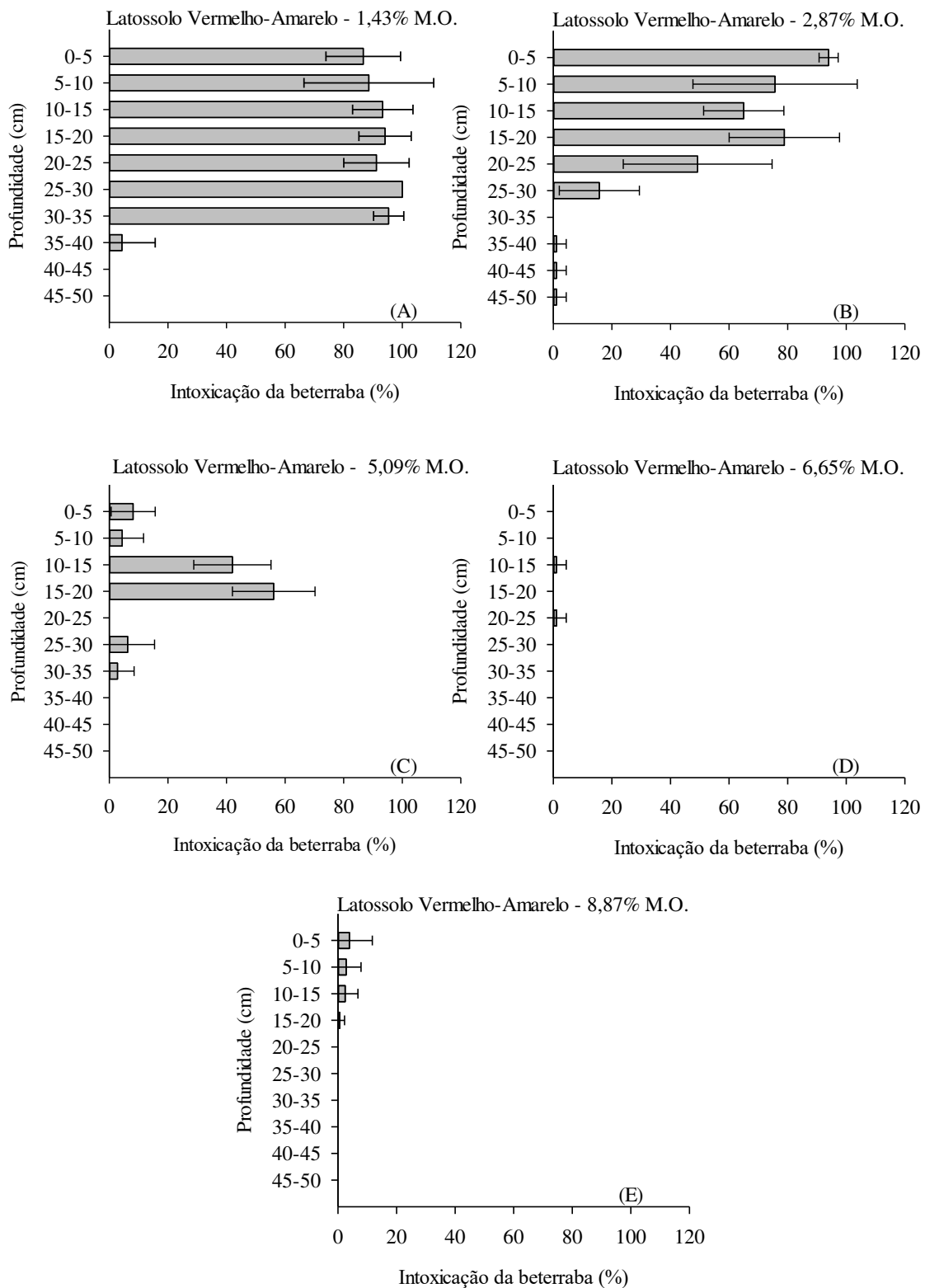


Figura 5. Lixiviação do saflufenacil em colunas preenchidas com Latossolo Vermelho-Amarelo com (A) 1,43%, (B) 2,87%, (C) 5,09%, (D) 6,65% e (E) 8,87% de matéria orgânica e submetidas a chuva de 60 mm avaliada aos 21 dias após a emergência da planta indicadora (*Beta vulgaris*).

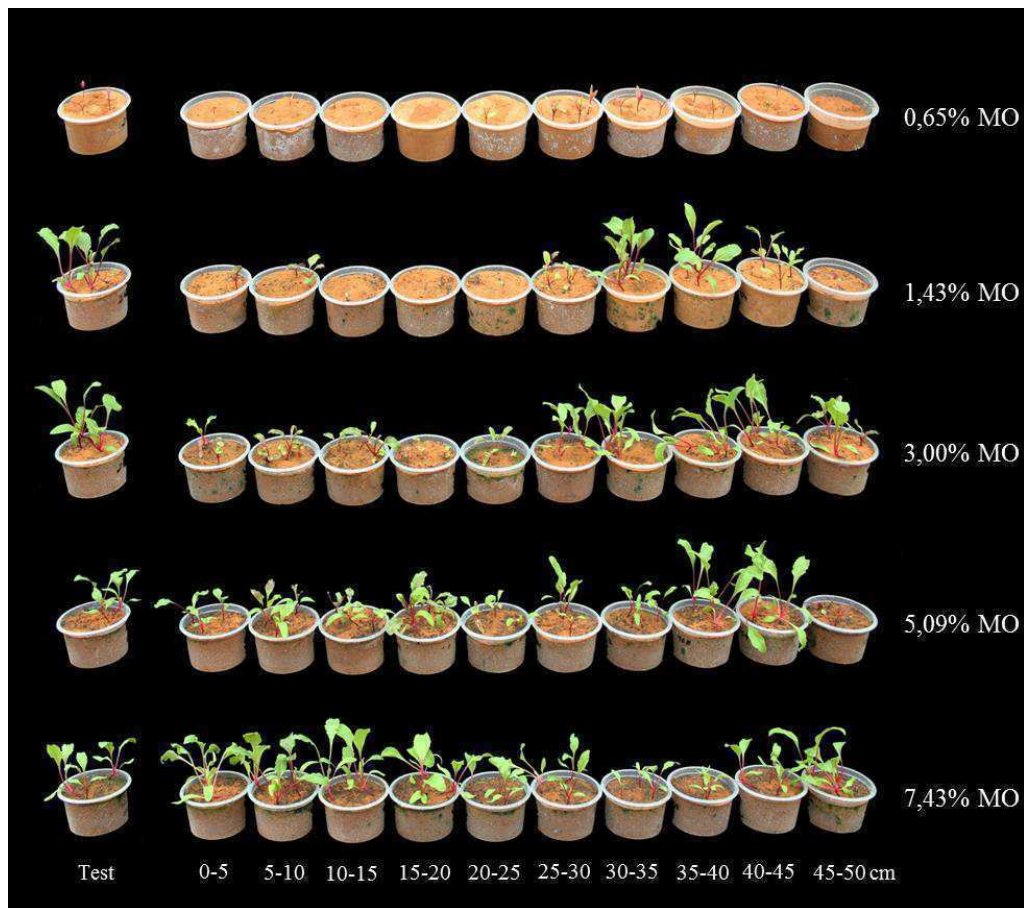


Figura 6. Crescimento de plantas de beterraba aos 21 dias após a emergência tratadas com saflufenacil ( $100 \text{ g ha}^{-1}$ ) em diferentes profundidades da coluna em Latossolo Amarelo com diferentes teores de matéria orgânica, sob chuva simulada de 60 mm.

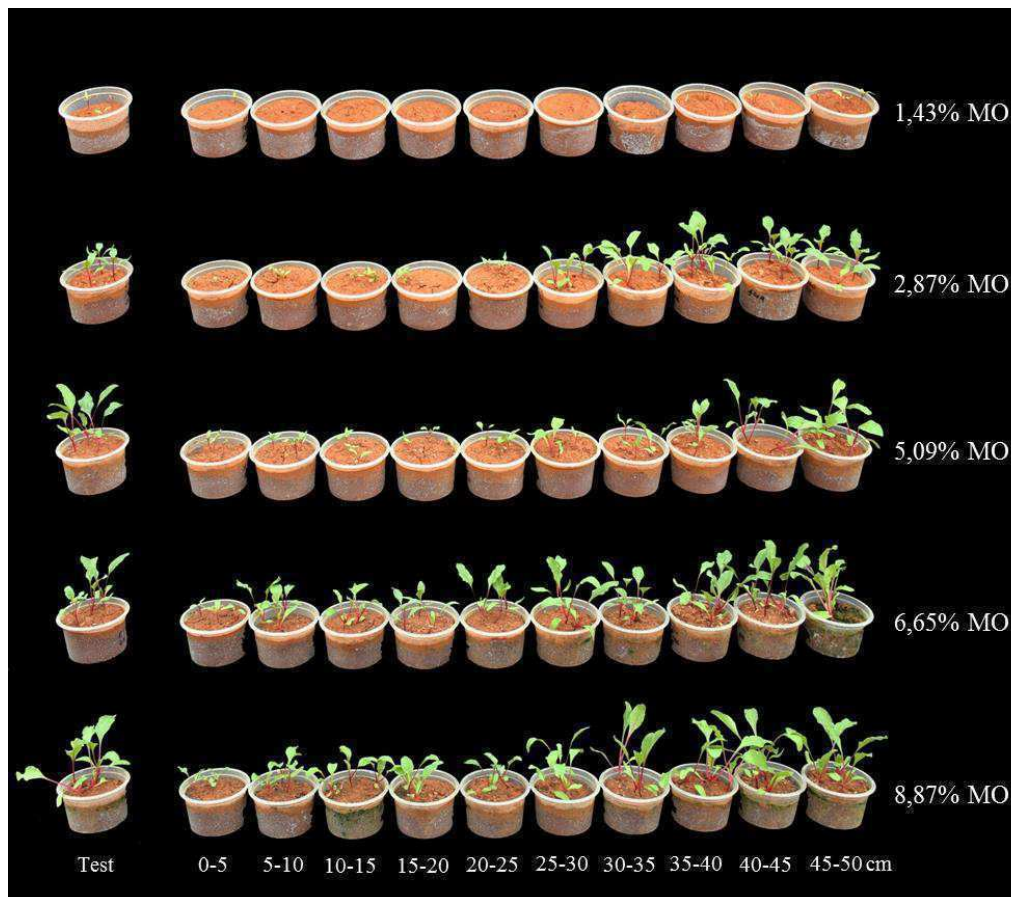


Figura 7. Crescimento de plantas de beterraba aos 21 dias após a emergência tratadas com saflufenacil ( $100 \text{ g ha}^{-1}$ ) em diferentes profundidades da coluna em Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes teores de matéria orgânica, sob chuva simulada de 60 mm.

### CONCLUSÕES

- Existe relação inversa entre os teores de matéria orgânica nas colunas de Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo e a lixiviação do saflufenacil nas colunas desses solos;
- Aplicações desse herbicida em Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo com baixo teor de matéria orgânica representa risco significativo de contaminar corpos de água subterrâneos;
- A ocorrência de intensas precipitações pluviais após aplicações em pré-emergência do saflufenacil resultará na perda da ação residual desse herbicida no controle de plantas daninhas, principalmente em solos com baixos teores de matéria orgânica.

## LITERATURA CITADA

BRAGA, D. F.; FREITAS, F.C.L.; ROCHA, P.R.R.; ARAÚJO, A.G.D.; MELO, V. C. Lixiviação do Sulfentrazone em Solos da Região Canavieira do Nordeste do Brasil. **Planta daninha**, v.34, n.1, 2016.

DE GERÓNIMO, E.; APARICIO, V. C.; COSTA, J. L. Glyphosate sorption to soils of Argentina. Estimation of affinity coefficient by pedotransfer function. **Geoderma**, v. 322, p. 140-148, 2018.

EMBRAPA - Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.

ERTLI, T.; MARTON, A.; FÖLDÉNYI, R. Effect of pH and the role of organic matter in the adsorption of isoproturon on soils. **Chemosphere**, v. 57, p. 771-779, 2004.

EWRC - EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL. Cite of methods in weed research. **Weed Reserach**, v. 4, p. 88, 1964.

FARIA, A. T.; SOUZA, M. F.; PASSOS, A. B. R. J; SILVA, A. A.; SILVA, D. V.; ZANUNCIO, J. C.; ROCHA, P. R. R. Tebuthiuron leaching in three Brazilian soils as affected by soil pH. **Environmental Earth Science**, v. 77, p. 214, 2018.

FARTYAL, D.; AGARWAL, A.; JAMES, D.; BORPHUKAN, B.; RAM, B.; SHERI, V.; YADAV, R.; MANNA, M.; VARAKUMAR, P.; ACHARY, V. M. M.; REDDY, M. K. Co-expression of P173S Mutant Rice EPSPS and igrA Genes Results in Higher Glyphosate Tolerance in Transgenic Rice. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. 144, 2018.

GANNON, T. W.; HIXSON, A. C.; KELLER, K. E.; WEBER, J. B.; KNEZEVIC, S. Z.; YELVERTON, F. H. Soil Properties Influence Saflufenacil Phytotoxicity. **Weed Science**, v. 62, p. 657–663, 2014.

GEVAO, B.; SEMPLE, K. T.; JONES, K. C. Bound pesticide residues in soils: a review. **Environmental Pollution**, v. 108, p. 3-14, 2000.

HIXSON, A. C. **Soil Properties Affect Simazine and Saflufenacil Fate, Behavior, and Performance**. 2008. 226 f. Tese (Doutorado) – North Caroline State University, Raleigh, 2008.

INOUE, M. H.; MENDES, K. F.; GOULART, M. O.; MERTENS, T. B.; DE SOUZA, O. C.; ZUBKO, M. A. Potencial de lixiviação e efeito residual de diuron + hexazinone + sulfometuron-methyl em solos de textura contrastante. **Revista Ciências Agrárias**, v. 58, n. 4, p. 418-426, 2015.

JIANG, R.; WANG, M.; CHEN, W. Characterization of adsorption and desorption of lawn herbicide siduron in heavy metal contaminated soils. **Chemosphere**, v. 204, p. 483-491, 2018.

LÓPEZ-PIÑEIRO, A.; PEÑA, D.; ALBARRÁN, A.; BECERRA, D.; SÁNCHEZ-LLERENA, J. Sorption, leaching and persistence of metribuzin in Mediterranean soils amended with olive mill waste of different degrees of organic matter maturity. **Journal of Environmental Management**, v. 122, p. 76-84, 2013.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons!/ap\\_produto\\_form\\_detalhe\\_cons?p\\_id\\_produto\\_formulado\\_tecnico=9299&p\\_tipo\\_janela=NEW](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons!/ap_produto_form_detalhe_cons?p_id_produto_formulado_tecnico=9299&p_tipo_janela=NEW)>. Acesso em 19 de abril de 2018.

MARÍN-BENITO, J. M.; SÁNCHEZ-MARTÍN, M. J.; ORDAX, J. M.; DRAOULI, K.; AZEJJEL, H.; RODRÍGUEZ-CRUZ, M. S. Organic sorbents as barriers to decrease the mobility of herbicides in soils. Modelling of the leaching process. **Geoderma**, v. 313, p. 205-216, 2018.

MARTINS, E. C.; MELO, V. F.; BOHONE, J. B.; ABATE, G. Sorption and desorption of atrazine on soils: The effect of different soil fractions. **Geoderma**, v. 322, p. 131-139, 2018.

MENDES, K. F.; HALL, K. E.; TAKESHITA, V.; ROSSI, M. L.; TORNISIELO, V. L. Animal bonechar increases sorption and decreases leaching potential of aminocyclopyrachlor and mesotrione in a tropical soil. **Geoderma**, v. 316, p. 11-18, 2018.

MONQUERO, P.A.; SABBAG, R.; ORZARI, I.; HIJANO, N.; GALVANI FILHO, M.; DALLACOSTA, V.; KROLIKOWSKI, V.; SILVA HIRATA, A.C. Lixiviação de saflufenacil e residual após períodos de seca. **Planta Daninha**, v. 30, n. 2, p. 415-423, 2012.

MUDHOO, A.; CARG, V. K. Sorption, transport and transformation of atrazine in soils, minerals and composts: a review. **Pedosphere**, v. 21, p. 11-25, 2011.

NÚÑEZ FRÉ, F.R.; JUAN, V.F.; CHANTRE, G. Distribución vertical del banco de semillas de *Euphorbia davidii* Subils, en lotes agrícolas de la zona centro de la provincia de buenos aires, argentina. **Planta Daninha**, v. 32, n. 4, p. 709-718, 2014.

ORZARI, I.; MONQUERO, P.A.; REIS, F.C.; SABBAG, R.S.; HIRATA, A.C.S. Germinação de espécies da família Convolvulaceae sob diferentes condições de luz, temperatura e profundidade de semeadura. **Planta daninha**, v. 31, n.1, p. 53-61, 2013.

PARAMESWARAN, T. G.; SIVAPULLAIAH, P. V. Influence of Sodium and Lithium Monovalent Cations on Dispersivity of Clay Soil. **Journal of materials in civil engineering**, v. 29, ed. 7, 2017.

PASSOS, A. B. R. J.; FREITAS, M. A. M.; GONÇALVES, V. A.; SILVA, G. S.; SILVA, A. A.; QUEIROZ, M. E. L. R.; LIMA, C. L.; SILVA, D. V. Leaching of sulfentrazone in soils of reforestation in Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, p. 1211–1215, 2015.

PASZKO, T.; MUSZYŃSKI, P.; MATERSKA, M.; BOJANOWSKA, M.; KOSTECKA, M.; JACKOWSKA, I. Adsorption and degradation of phenoxyalkanoic acid herbicides in soils: a review. **Environmental Toxicol. Chemistry**, v. 35, n. 2, p. 271, 2016.

PEREIRA, G.A.M.; BARCELLOS JR., L.H.; GONÇALVES, V.A.; SILVA, D.V.; SILVA, A.A. Clomazone leaching estimate in soil columns using the biological method. **Planta Daninha**, v. 35, 2017.

REN, X.; WANG, F.; ZHANG, P.; GUO, J.; SUN, H. Aging effect of minerals on biochar properties and sorption capacities for atrazine and phenanthrene. **Chemosphere**, v. 206, p. 51-58, 2018.

SALAZAR-LEDESMA, M.; PRADO, B.; ZAMORA, O.; SIEBE, C. Mobility of atrazine in soils of a wastewater irrigated maize field. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 255, p. 73-83, 2018.

SANTOS, E.A., CORREIA, N.M., SILVA, J.R.M., VELINI, E.D., PASSOS, A.B.R.J., and DURIGAN, J.C. Herbicide detection in groundwater in córrego rico-sp watershed. **Planta Daninha**, v. 33, n. 1, p. 147-155, 2015.

SENESI, N. Binding mechanisms of pesticides to soil humic substances. **Science of the Total Environment**, v. 123/124, p. 63-76, 1992.

SILVA, A. A. **Bioatividade do alachlor e do metribuzin sob diferentes manejos de água no solo, e efeitos do metribuzin, sob estas condições em soja (Glycine max (L.) Merrill)**. 1989. 138 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1989.

SILVA, K.S.; FREITAS, F.C.L.; BRAGA D.F.; DOMBROSKI, J.L.D.; SANTOS, A.F.B. Ametryn leaching in soils from the sugarcane region in northeastern Brazilian. **Planta Daninha**, v. 34, n. 4, p. 839-847, 2016.

STIPIČEVIĆ, S.; SEKOVANIĆ, L.; DREVENKAR, V. Ability of natural, acid-activated, and surfactant-modified Terra Rossa soils to sorb triazine herbicides and their degradation products. **Applied Clay Science**, v. 88–89, p. 56-62, 2014.

TEJADA, M.; BENÍTEZ, C. Flazasulfuron behavior in a soil amended with different organic wastes. **Applied Soil Ecology**, v. 117–118, p. 81-87, 2017.

VAN STEMPOORT, D. R.; ROY, J. W.; BROWN, S. J.; BICKERTON, G. Residues of the herbicide glyphosate in riparian groundwater in urban catchments. **Chemosphere**, v. 95, p. 455–463, 2014.

VIVIAN, R.; QUEIROZ, M.; JAKELAITIS, A.; GUIMARAES, A.; REIS, M.; CARNEIRO, P.; SILVA, A. Persistence and leaching of ametryn and trifloxysulfuron-sodium on sugar-cane soil. **Planta Daninha**, v. 25, p. 111–124, 2007.

ZHANG, C.; LIAO, X.; LI, J.; XU, L.; LIU, M.; DU, B.; WANG Y. Influence of long-term sewage irrigation on the distribution of organochlorine pesticides in soil-groundwater systems. **Chemosphere**, v. 92, p. 337–343, 2013.

## **SORÇÃO E DESSORÇÃO DO SAFLUFENACIL EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA POR CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA**

**Resumo** – O saflufenacil tem sido utilizado em áreas agrícolas visando o controle de plantas daninhas resistentes ou tolerantes ao glyphosate. Todavia, pouco se sabe sobre a dinâmica desse herbicida em solos tropicais e do risco potencial que o mesmo pode causar no ambiente. Neste trabalho foi utilizado o método “*batch equilibrium*” para quantificar a sorção e a dessorção do saflufenacil em Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes teores de matéria orgânica por cromatografia líquida de alta eficiência. As concentrações do saflufenacil na solução dos solos foram avaliadas por cromatografia líquida de alta eficiência após a centrifugação e filtração das soluções contendo o herbicida. A dessorção foi avaliada utilizando os mesmos tubos da sorção após ter sido retirado todo o sobrenadante dos tubos. O tempo de equilíbrio do herbicida com os coloides dos solos não se ajustou aos modelos matemáticos disponíveis, impossibilitando definir as isotermas de sorção e dessorção. Conclui-se que são necessários novos estudos para definir uma metodologia para quantificar a sorção e a dessorção do saflufenacil nos solos utilizando a cromatografia líquida de alta eficiência.

**Palavras-chave:** Herbicida, retenção, CLAE.

**SORPTION AND DESORPTION OF SAFLUFENACIL IN FERRALSOLS  
WITH DIFFERENTS ORGANIC MATTERS CONTENTS BY HIGH  
PERFORMANCE LIQUID CROMATOGRAPH**

**Abstract** – Saflufenacil has been used in agricultural areas for the control of resistant or tolerant glyphosate weeds. However, little is known about the dynamics of this herbicide in tropical soils and the potential risk it can cause in the environment. In this work, the batch equilibrium method was used to quantify the sorption and desorption of saflufenacil in Xanthic Ferralsol and Ferralsol with different organic matter contents by high performance liquid chromatography. The concentrations of saflufenacil in the soil solution were evaluated by high performance liquid chromatography after centrifugation and filtration of the solutions. Desorption was evaluated using the same sorption tubes after the entire supernatant had been withdrawn from the tubes. The equilibrium time of the herbicide with the soil colloids did not fit the available mathematical models, making it impossible to define the sorption and desorption isotherms. It is concluded that further studies are needed to define a methodology for quantifying sorption and desorption of saflufenacil in soils using high performance liquid chromatography.

**Keywords:** Herbicide, retention, HPLC.

## INTRODUÇÃO

O saflufenacil {2-chloro-4-fluoro-5-[3-methyl-2,6-dioxo-4-(trifluoromethyl)pyrimidin-1-yl]-N-[methyl(propano-2-yl)sulfamoyl]benzamide} é um novo herbicida no Brasil registrado para diversas culturas de interesse agrícola no controle de plantas daninhas eudicotiledôneas (MAPA, 2018). Seu uso, sobretudo, tem sido para controlar plantas daninhas resistentes ou tolerantes ao glyphosate. Contudo, aplicações de herbicidas sem o conhecimento dos atributos dos solos e as interações entre eles pode resultar em contaminação de águas subterrâneas (Brauns et al., 2018; Li et al., 2018; Rodrigues et al., 2018; Salazar-Ledesma et al., 2018).

O saflufenacil é um herbicida de caráter ácido que apresenta solubilidade em água ( $\text{pH } 7,0$ ) =  $2.100 \text{ mg L}^{-1}$ ;  $\text{pK}_a = 4,41$ ;  $\text{K}_{ow} = 368$ ; constante da lei de Henry =  $4,0 \times 10^{-20} \text{ atm m}^{-3} \text{ mol}^{-1}$  e pressão de vapor =  $4,5 \times 10^{-15} \text{ Pa}$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  (USEPA, 2009). Essas propriedades estão associadas ao comportamento dessa molécula no solo. Em solos que o valor de pH é maior que o pKa do herbicida, o saflufenacil predominantemente fica em sua forma iônica, tendendo a permanecer na solução do solo e estar mais propenso a ser lixiviado.

O risco potencial de contaminação do ambiente por um herbicida é em razão das propriedades da molécula e dos atributos do solo, sendo que os herbicidas podem sofrer processos de retenção, transporte e transformação ao serem aplicados no ambiente (Gravilescu, 2005). A retenção envolve processos de sorção e dessorção entre o saflufenacil e o solo. As principais características do solo associadas com a sorção e dessorção são textura, mineralogia, pH e teor de matéria orgânica (Wang e Keller, 2009; Huang et al., 2015). Esses atributos do solo possuem algumas propriedades como área de superfície específica, volume e tamanho de poros, capacidade de troca de cátions, superfície com grupos funcionais e estrutura molecular (Yavari et al., 2015). A matéria orgânica é um dos atributos do solo com capacidade de sorver o saflufenacil. Os herbicidas de caráter ácido podem interagir com os grupamentos  $-\text{COOH}$  e  $-\text{COOR}$  da matéria orgânica por ligações de hidrogênio quando se encontram em sua forma molecular (Gevao et al., 2000). Este é o caso do saflufenacil, o qual possui em sua molécula átomos de flúor, nitrogênio e oxigênio, o que aumenta a possibilidade da molécula ficar adsorvida na matéria orgânica.

Diversos autores têm estudado o comportamento de herbicidas nos solos por meio de bioensaios e cromatografia líquida de alta eficiência, de forma integrada (Vivian et al., 2007; Andrade et al., 2010; Braga et al., 2016; Faria et al., 2018). A união desses dois métodos é importante por serem complementares, uma vez que em alguns casos a técnica do bioensaio é mais sensível em detectar a presença do herbicida em concentrações muito baixas (Andrade et al., 2010; Freitas et al., 2012). A cromatografia, por sua vez, permite quantificar a concentração do herbicida sorvido nos coloides do solo. Diante disso, objetivou-se neste trabalho avaliar a sorção e a dessorção do saflufenacil em Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes teores de matéria orgânica por meio da cromatografia líquida de alta eficiência.

## MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de dois solos distintos (arenoso e argiloso), provenientes de áreas sem histórico de aplicação de herbicida, foram utilizadas na condução deste experimento. Um Latossolo Amarelo (LA) do município de Três Marias–MG e um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) do município de Viçosa–MG foram coletados na profundidade de 0-20 cm. Ambos os solos foram encubados com esterco bovino pelo período de 30 dias nas seguintes proporções (v:v): 0:1; 0,25:1; 0,5:1; 0,75:1 e 1:1 L de matéria orgânica L<sup>-1</sup> de solo. Em seguida, amostras foram secas ao ar e desintegradas em peneira com malha de 4 mm. Os substratos foram submetidos a análises química e física. Dessa forma, os tratamentos consistiram de LA e LVA com cinco teores distintos de matéria orgânica (Tabela 1).

O tempo de equilíbrio necessário para a sorção do saflufenacil foi determinado pelo método “*batch equilibrium*”. Para isso, foi preparada uma solução de 100 mg L<sup>-1</sup> de saflufenacil obtida a partir de uma solução-estoque de 1.000 mg L<sup>-1</sup> de saflufenacil Pestanal<sup>®</sup>. O método consistiu em adicionar em tubos falcon 2,00 g de amostra de solos e posteriormente adicionar 10 mL de solução do saflufenacil em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>. Esses tubos foram agitados verticalmente por diferentes intervalos de tempo em temperatura de 27 °C e centrifugados por 6 minutos à 805 x g (3000 rpm). Parte do sobrenadante foi filtrado em membrana MCE (Mixed Cellulose Esters) com porosidade de 0,45 µm para análise por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). O tempo de equilíbrio é o tempo a partir do qual a concentração do herbicida permanece constante no solo.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos dos tratamentos: Latossolo Amarelo (LA) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) acrescidos de diferentes quantidades de esterco

| Solos                             | Tratamento | Esterco:Solo<br>(v:v) | MO<br>% | pH<br>(H <sub>2</sub> O) | P<br>-----mg dm <sup>-3</sup> ----- | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | H+Al | A. grossa A. fina Silte Argila |      |      |      |
|-----------------------------------|------------|-----------------------|---------|--------------------------|-------------------------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------|--------------------------------|------|------|------|
|                                   |            |                       |         |                          |                                     |                |                  |                  |                  |      | -----%-----                    |      |      |      |
| Latossolo<br>Amarelo              | LA1        | 0:1                   | 0,65    | 4,98                     | 0,30                                | 9,00           | 0,13             | 0,04             | 0,20             | 2,1  | 20,1                           | 57,2 | 3,4  | 19,3 |
|                                   | LA2        | 0,25:1                | 1,43    | 6,16                     | 46,80                               | 408,00         | 1,84             | 1,15             | 0,00             | 1,1  | 18,5                           | 58,9 | 3,7  | 18,8 |
|                                   | LA3        | 0,5:1                 | 3,00    | 6,80                     | 161,20                              | 887,00         | 3,26             | 2,11             | 0,00             | 0,5  | 17,6                           | 57,7 | 5,3  | 19,5 |
|                                   | LA4        | 0,75:1                | 5,09    | 7,21                     | 348,90                              | 1386,00        | 4,45             | 3,36             | 0,00             | 0,3  | 19,8                           | 53,8 | 4,5  | 21,9 |
|                                   | LA5        | 1:1                   | 7,43    | 7,33                     | 612,30                              | 2292,00        | 4,65             | 3,80             | 0,00             | 0,5  | 24,6                           | 45,9 | 7,6  | 21,9 |
| Latossolo<br>Vermelho-<br>Amarelo | LVA1       | 0:1                   | 1,43    | 4,97                     | 8,90                                | 21,00          | 0,52             | 0,13             | 0,99             | 4,1  | 18,6                           | 8,5  | 13,6 | 59,3 |
|                                   | LVA2       | 0,25:1                | 2,87    | 5,47                     | 59,20                               | 448,00         | 2,78             | 1,57             | 0,00             | 2,9  | 17,9                           | 8,9  | 14,1 | 59,1 |
|                                   | LVA3       | 0,5:1                 | 5,09    | 6,09                     | 171,60                              | 967,00         | 4,73             | 2,91             | 0,00             | 1,8  | 17,8                           | 8,9  | 10,8 | 62,5 |
|                                   | LVA4       | 0,75:1                | 6,65    | 6,55                     | 297,10                              | 1625,00        | 6,29             | 4,10             | 0,00             | 1,3  | 18,2                           | 9,4  | 14,3 | 58,1 |
|                                   | LVA5       | 1:1                   | 8,87    | 6,95                     | 434,50                              | 2173,00        | 6,89             | 4,92             | 0,00             | 0,5  | 19,6                           | 10   | 14,8 | 55,7 |

Análises realizadas no Laboratório de Análises de Solo da Universidade Federal de Viçosa, segundo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1997); MO = matéria orgânica.

Para a sorção utilizou-se soluções de trabalho preparadas em seis diferentes concentrações: 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 6,0; 8,0 mg L<sup>-1</sup> de saflufenacil em 0,01 mol L<sup>-1</sup> de CaCl<sub>2</sub>. Destas soluções foram adicionados 10 mL em tubos contendo 2,00 g de solos. Em seguida, esses tubos foram agitados verticalmente pelo tempo de equilíbrio determinado anteriormente e centrifugados por 6 minutos por 805 x g e o sobrenadante filtrado em membrana MCE 0,45 µm para posterior análise por CLAE.

O estudo da dessorção foi realizado retirando o sobrenadante de todos os tubos contendo os solos após o ensaio de sorção e adicionando a estes 10 mL de solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> isenta de herbicida. Para a homogeneização do solo com a solução, os tubos foram agitados manualmente por 10 segundos. Posteriormente foram submetidos à agitação vertical pelo mesmo tempo no qual foram feitos os ensaios de sorção e centrifugados. O sobrenadante foi filtrado em membrana MCE 0,45 µm para análise por CLAE.

A quantificação do saflufenacil foi realizada utilizando-se um aparelho de cromatografia líquida de alta eficiência (modelo Shimadzu LC 20AT, Japão), detector de arranjo de fotodiodo (Shimadzu SPD- M20A), coluna C18 de aço inox (Shimadzu VPODS Shim-pack 250 mm x 4,6 mm d. i., 5 µm de tamanho de partícula). As condições cromatográficas foram: fase móvel de acetonitrila: água (acidificada com 0,01% v/v de ácido ortofosfórico) a uma proporção de 50:50, volume de injeção de 20 µL, fluxo de 1,0 mL min<sup>-1</sup>, comprimento de onda de 210 nm e temperatura da coluna de 45 °C. Nestas condições, o tempo de retenção para o saflufenacil foi de aproximadamente 11,5 minutos. A comparação do tempo de retenção da amostra com um padrão analítico de saflufenacil permitiu a identificação do herbicida, e sua quantificação foi determinada pelo método de calibração externa.

O limite de detecção (LD) e o limite de quantificação (LQ) foram determinados pelo método baseado em parâmetros da curva analítica, onde esses parâmetros são expressos por 3,3x (s/S) e 10x (s/S), respectivamente, nos quais s é a estimativa do desvio padrão da resposta, que pode ser a estimativa do desvio padrão do coeficiente linear da equação e S é a inclinação ou coeficiente angular da curva analítica (Ribani et al., 2004).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O método mostrou-se seletivo por não haver no extrato interferente no tempo de retenção (~11,5 min) (Figuras 1 e 2). Os limites de detecção e de quantificação foram 0,11 e 0,33 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

Realizou-se o estudo do tempo de equilíbrio três vezes com o Latossolo Vermelho-Amarelo – 1,43% MO e duas vezes para os demais solos. Em todas as vezes, a sorção do saflufenacil não entrou em equilíbrio com os coloides dos solos (Figuras 3, 4 e 5). Devido ao não estabelecimento do tempo de equilíbrio, determinou-se que as amostras dos solos tratados com o saflufenacil seriam agitadas por 18 horas. Este tempo foi o que melhor representou a máxima sorção em todas as amostras dos solos, sendo fixado para permitir o andamento das pesquisas de sorção e dessorção.

Os ensaios de sorção e dessorção foram repetidos duas vezes (Figuras 6, 7 e 8). Apesar de todas as amostras de solos serem agitadas pelo mesmo tempo (18 h), não foi possível ajustar as isotermas de sorção. O que se observa é que apesar da não adequação da isoterma, a sorção deste herbicida foi muito baixa, o que prejudicou a dessorção, que também não foi possível a sua adequação nos modelos de isoterma.

Alguns trabalhos quantificaram a sorção e a dessorção do saflufenacil nos solos por meio de cromatografia líquida de alta eficiência acoplado a um espectrômetro de massa (Papiernik et al., 2012) ou através da técnica de radioisótopos (Hixson, 2008; Matallo et al., 2014). No entanto, a metodologia utilizada nesta pesquisa foi a cromatografia líquida de alta eficiência, pura, diferindo das demais técnicas. A sorção do saflufenacil foi determinada pelo método indireto. Esse método consiste em calcular a quantidade do herbicida adsorvido nas amostras de solos através da diferença entre a quantidade inicial do herbicida na solução do solo e a quantidade remanescente no fim do experimento. Talvez o mais indicado para herbicidas que apresentem baixa sorção, como o saflufenacil, seja a análise direta do solo. Esse método consiste na extração do herbicida com um solvente apropriado, envolvendo processos de extração ou combustão por cintilação líquida utilizando material radioativo (OECD, 2000).

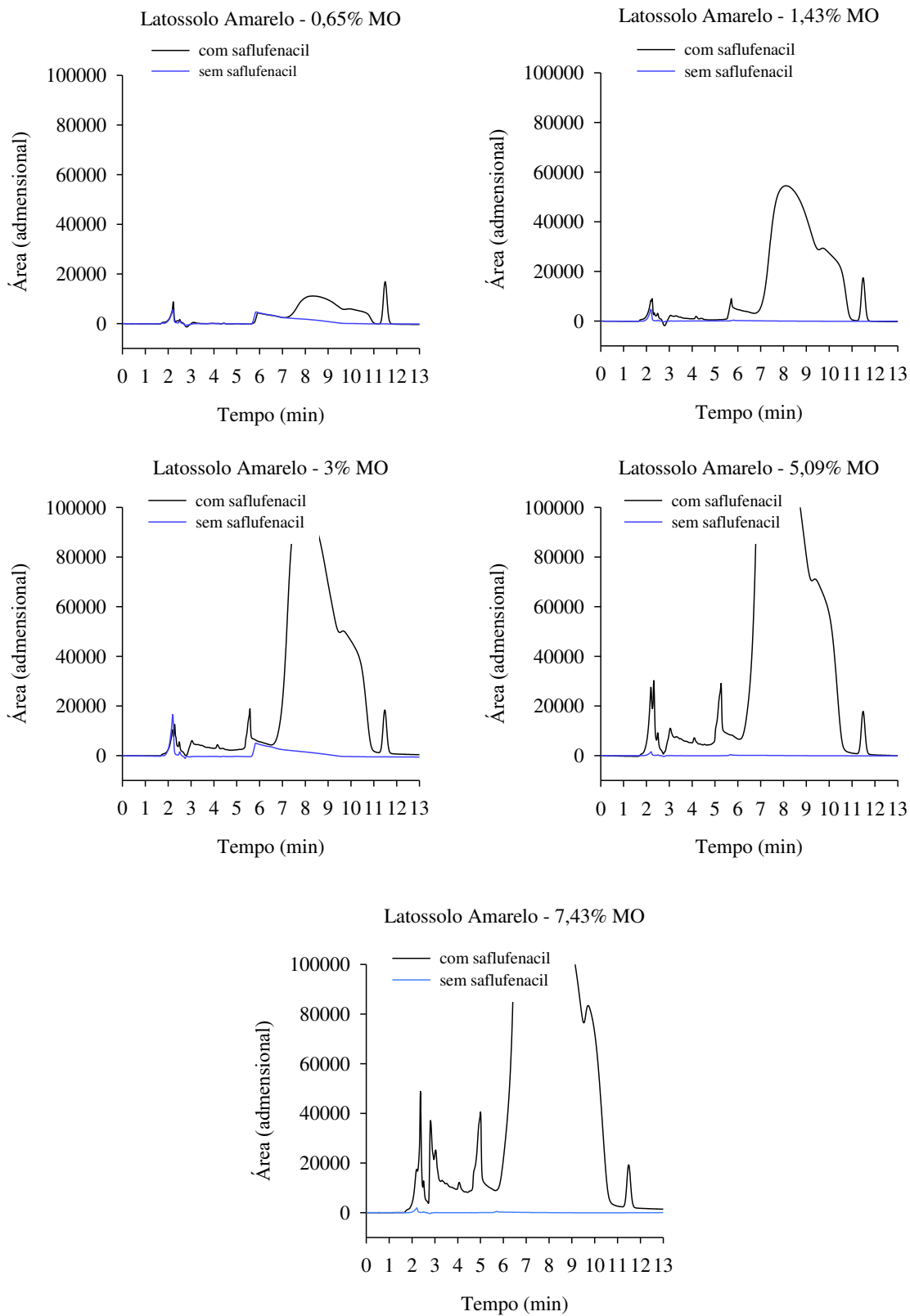


Figura 1 – Cromatogramas das amostras do Latossolo Amarelo com cinco diferentes teores de matéria orgânica com e sem a presença do saflufenacil a  $3 \text{ mg L}^{-1}$  e  $t_R \sim 11,5$  min.

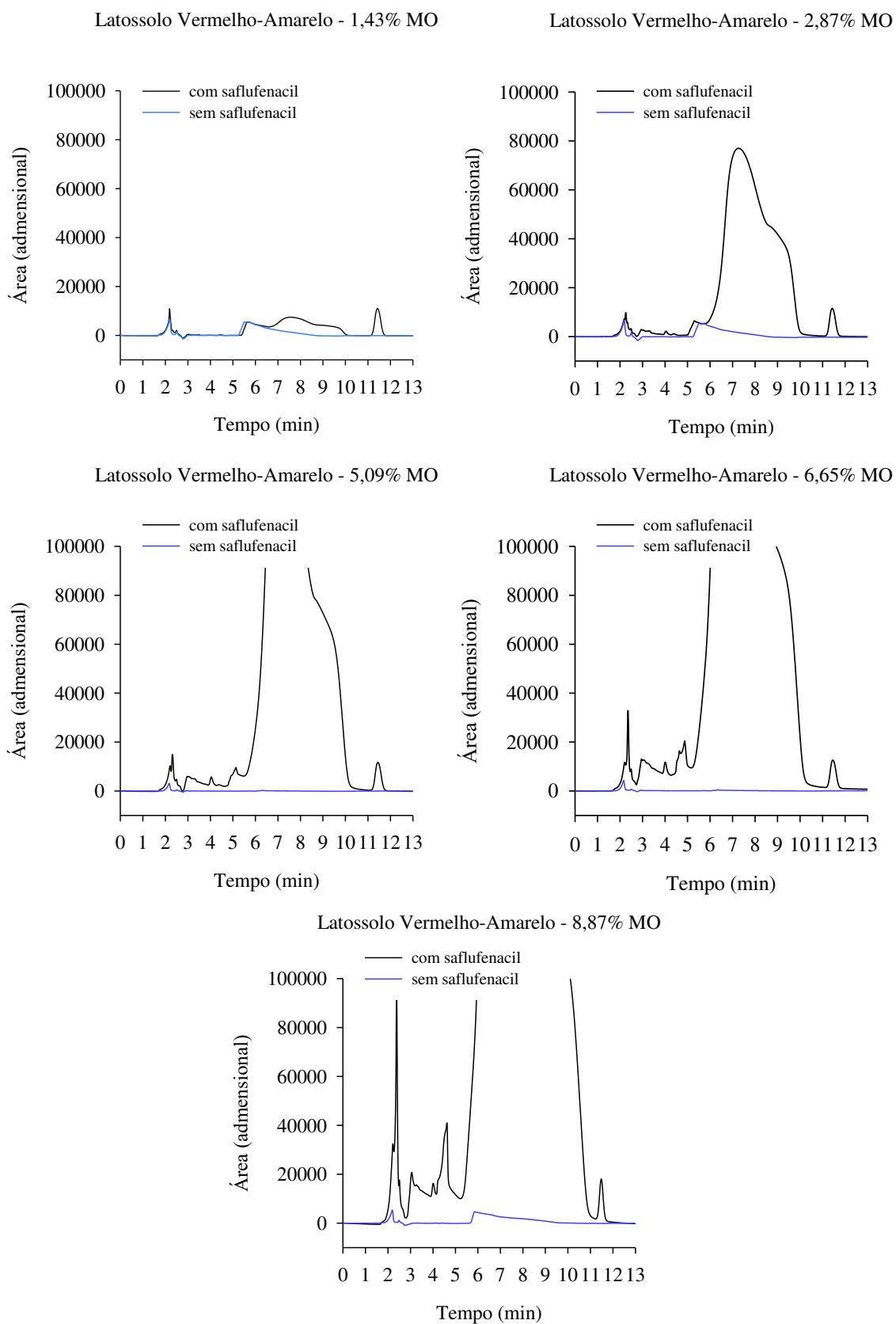


Figura 2 – Cromatogramas das amostras do Latossolo Vermelho-Amarelo com cinco diferentes teores de matéria orgânica com e sem a presença do saflufenacil a  $3 \text{ mg L}^{-1}$  e  $t_R \sim 11,5 \text{ min}$ .

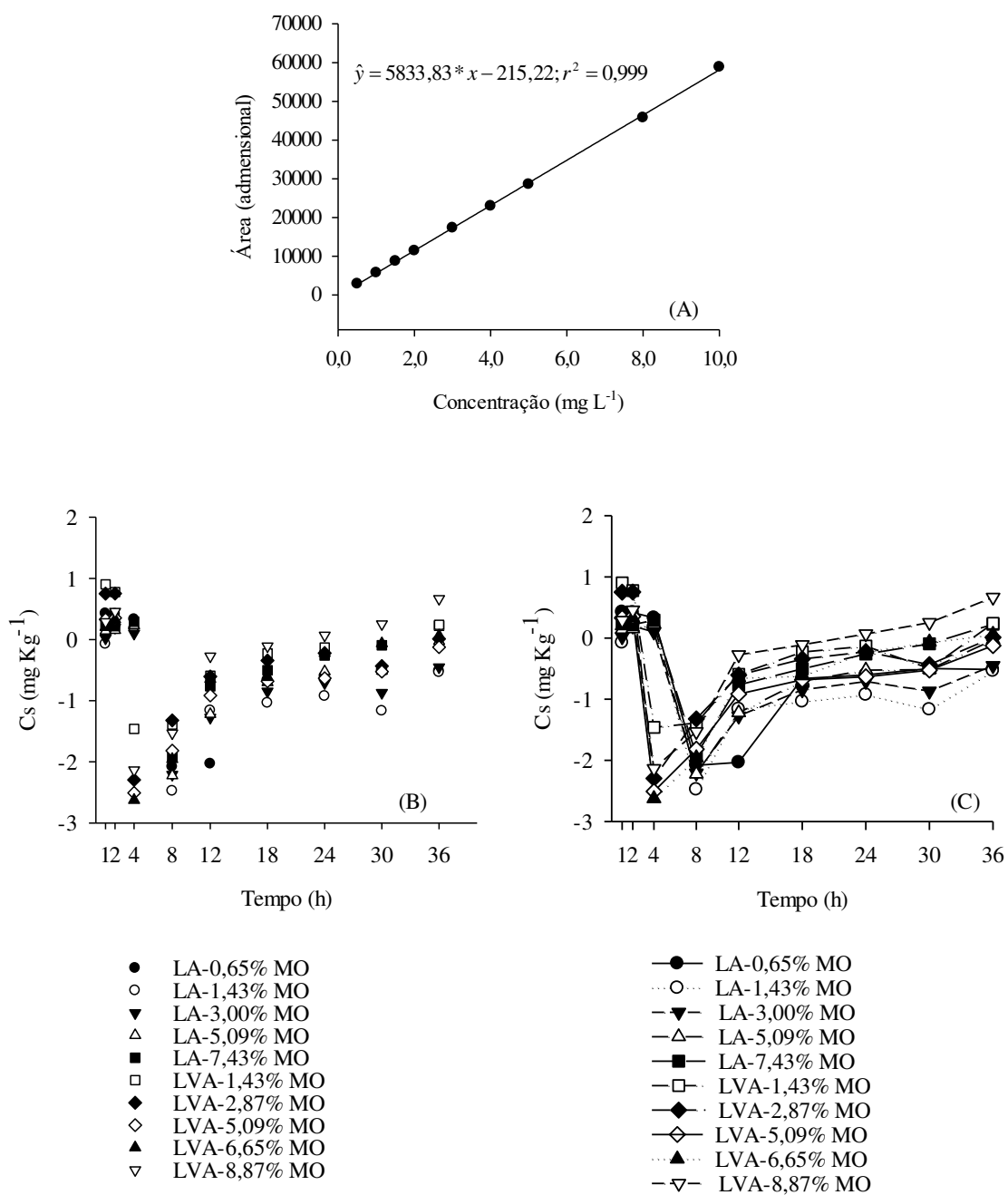


Figura 3 – Curva analítica do saflufenacil em acetoneitrila (A); curva de cinética de sorção do saflufenacil (B e C) nas amostras de Latosolo Amarelo e Latosolo Vermelho-Amarelo com diferentes teores de matéria orgânica. 1ª condução do experimento.

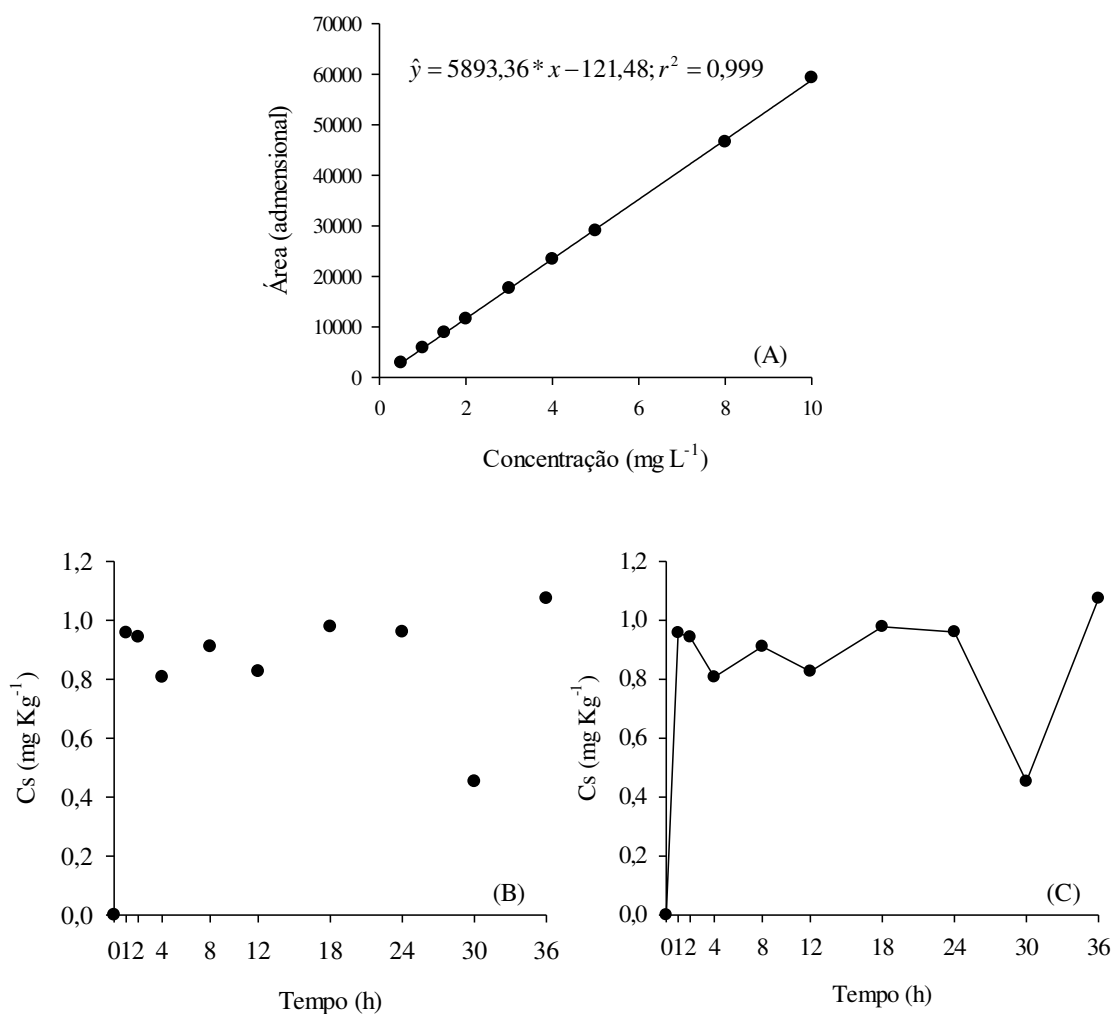


Figura 4 – Curva analítica do saflufenacil em acetonitrila (A); curva de cinética de sorção do saflufenacil (B e C) no Latossolo Vermelho-Amarelo (MO = 1,43%). 2<sup>a</sup> condução do experimento.

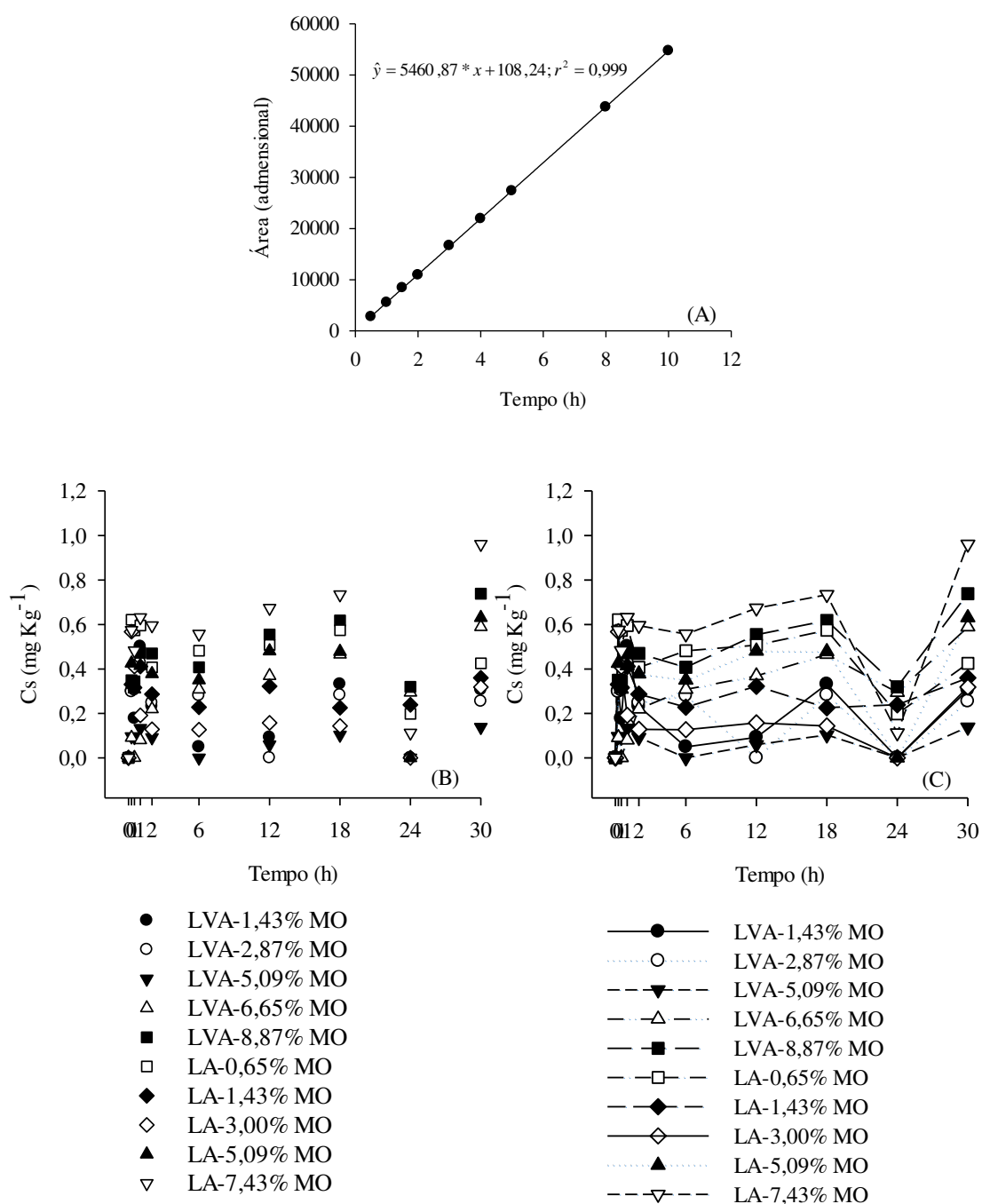


Figura 5 – Curva analítica do saflufenacil em acetoneitrila (A); curva de cinética de sorção do saflufenacil (B e C) nas amostras de Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes teores de matéria orgânica. 3ª condução do experimento.

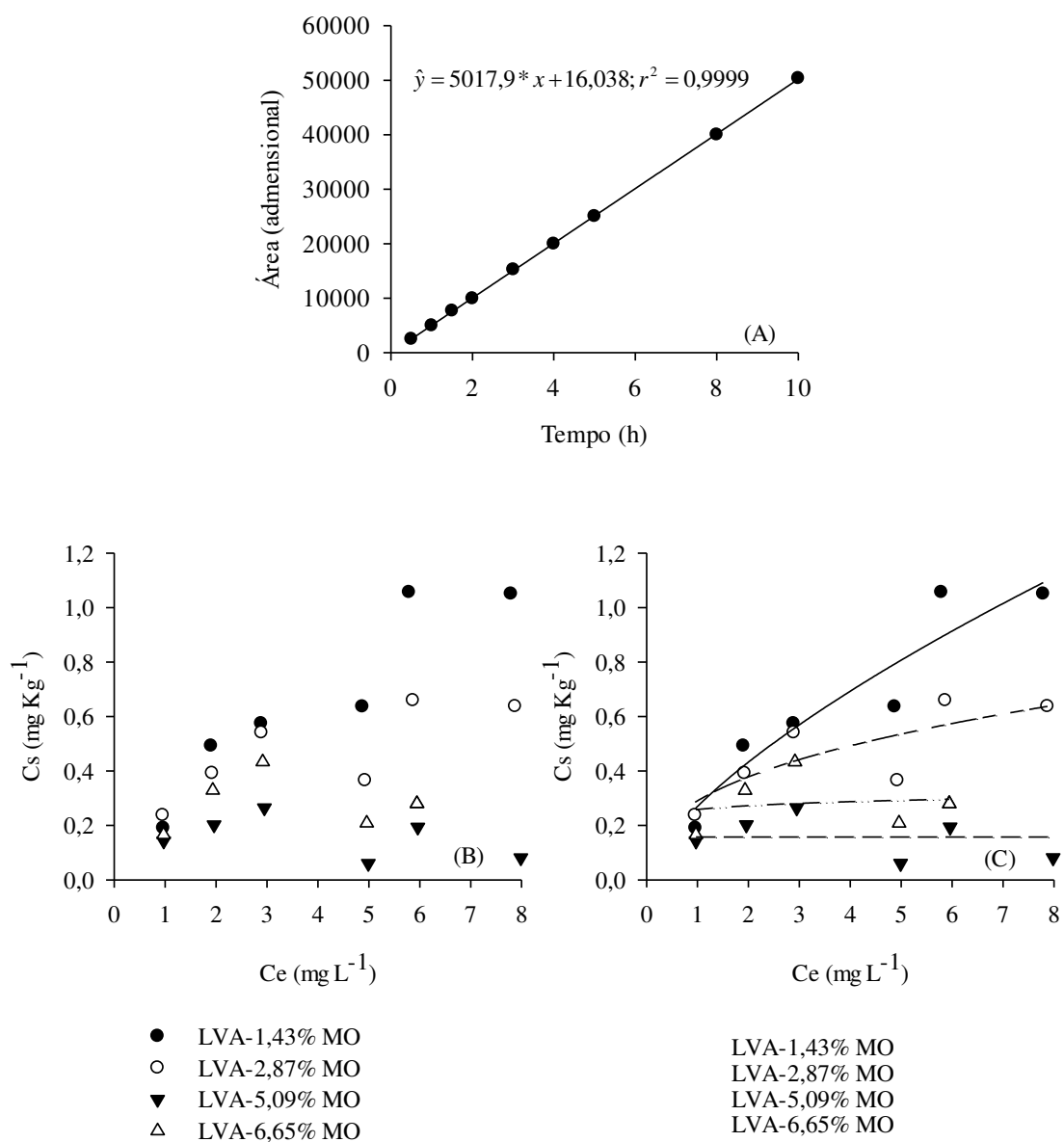


Figura 6 – Curva analítica do saflufenacil em acetonitrila (A); isotermas da sorção do saflufenacil (B e C) nas amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes teores de matéria orgânica. 1ª condução do experimento.

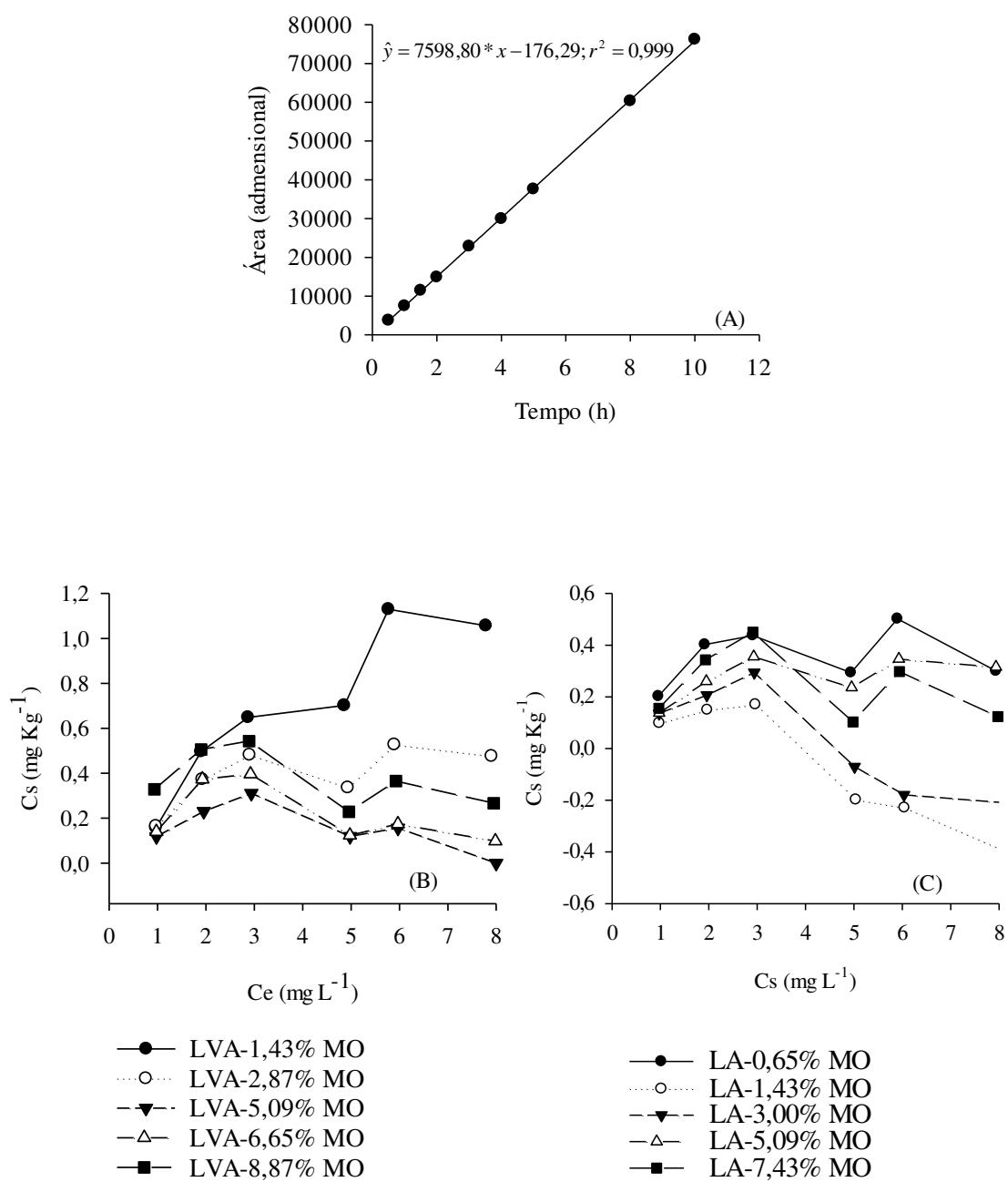


Figura 7 – Curva analítica do saflufenacil em acetonitrila (A); isothermas de sorção do saflufenacil nas amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (B) e Latossolo Amarelo (C) com diferentes teores de matéria orgânica. 2ª condução do experimento.

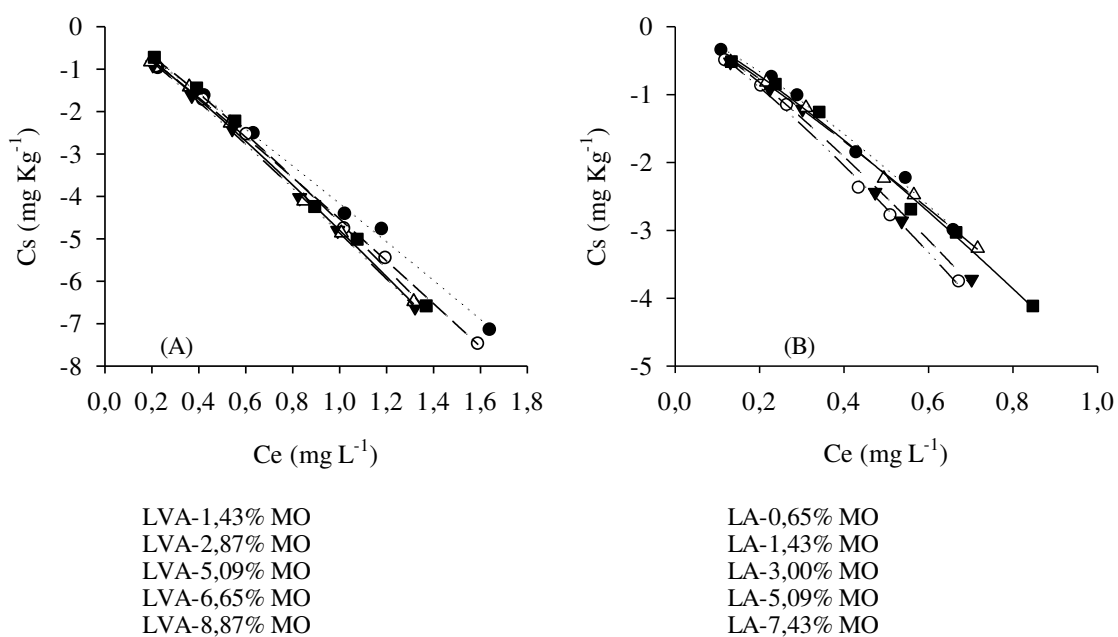


Figura 8 – Isotermas de dessorção do saflufenacil nas amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (A) e Latossolo Amarelo (B) com diferentes teores de matéria orgânica.

## CONCLUSÃO

O tempo de equilíbrio do herbicida com os colóides dos solos não se ajustou aos modelos matemáticos disponíveis impossibilitando definir as isotermas de sorção e dessorção. Em razão disso, são necessários novos estudos para definir uma metodologia para quantificar a sorção e a dessorção do saflufenacil nos solos utilizando a cromatografia líquida de alta eficiência.

## LITERATURA CITADA

ANDRADE, S. R. B.; SILVA, A. A.; LIMA, C. F.; D'ANTONINO, L.; QUEIROZ, M. E. L. R.; FRANÇA, A. C.; FELIPE, R. S.; VICTORIA FILHO, R. Lixiviação do ametryn em Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo, com diferentes valores de pH. **Planta Daninha**, v. 28, n. 3, p. 655-663, 2010.

BRAGA, D. F.; FREITAS, F. C. L.; ROCHA, P. R. R.; ARAÚJO, A. G. D.; MELO, V. C. Leaching of Sulfentrazone in Soils from the Sugarcane Region in the Northeast Region of Brazil. **Planta daninha**, v.34, n.1, p. 161-169, 2016.

BRAUNS, B.; JAKOBSEN, R.; SONG, X. F.; BJERG, P. L. Pesticide use in the wheat-maize double cropping systems of the North China Plain: Assessment, field study, and implications. **Science of the Total Environment**, v. 616, p. 1307-1316, 2018.

EMBRAPA - Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.

FARIA, A. T.; SOUZA, M. F.; PASSOS, A. B. R. J.; SILVA, A. A.; SILVA, D. V.; ZANUNCIO, J. C.; ROCHA, P. R. R. Tebuthiuron leaching in three Brazilian soils as affected by soil pH. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, p. 1-12, 2018.

FREITAS, F. C. L.; SILVA, A. A.; SILVA, L. O. C.; ROCHA, P. R. R.; GUIMARÃES, F. C. N.; FREITAS, M. A. M.; FELIPE, R. S. Mobilidade do ametryn em solos da região semiárida do Rio Grande do Norte. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 641-648, 2012.

GEVAO, B.; SEMPLE, K. T.; JONES, K. C. Bound pesticide residues in soils: a review. **Environmental Pollution**, v. 108, p. 3-14, 2000.

GRAVILESCU, M. Fate of Pesticides in the Environment and its Bioremediation. **Engineering in Life Sciences**, v. 5, n. 6, p. 497-526, 2005.

HIXSON, A. C. **Soil Properties Affect Simazine and Saflufenacil Fate, Behavior, and Performance**. 2008. 226 f. Tese (Doutorado) – North Caroline State University, Raleigh, 2008.

HUANG, Y.; LIU, Z.; HE, Y.; LI, Y. Impact of soil primary size fractions on sorption and desorption of atrazine on organo-mineral fractions. **Environmental Science Pollution Research**, v. 22, p. 4396-4405, 2015.

Li, H.; Feng, Y.; Li, X.; Zeng, D. Analytical Confirmation of Various Herbicides in Drinking Water Resources in Sugarcane Production Regions of Guangxi, China. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 100, p. 815-820, 2018.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons!/ap\\_produto\\_form\\_detalhe\\_cons?p\\_id\\_produto\\_formulado\\_tecnico=9299&p\\_tipo\\_janela=NEW](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons!/ap_produto_form_detalhe_cons?p_id_produto_formulado_tecnico=9299&p_tipo_janela=NEW)>. Acesso em 02 de junho de 2018.

MATALLO, M.B.; FRANCO, D.A.S.; ALMEIDA, S.D.B.; CERDEIRA, A.L. Sorption and desorption of suflafenacil in two soils in the state of são paulo with different physical and chemical attributes. **Planta Daninha**, v. 32, n. 2, p. 393-399, 2014.

OECD - Test No. 106: **Adsorption -- Desorption Using a Batch Equilibrium Method**, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 1, OECD Publishing, Paris, 2000. Disponível em: <[https://www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-106-adsorption-desorption-using-a-batch-equilibrium-method\\_9789264069602-en](https://www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-106-adsorption-desorption-using-a-batch-equilibrium-method_9789264069602-en)>. Acesso em: 25 de junho de 2018.

PAPIERNIK, S. K.; KOSKINEN, W. C.; BARBER, B. L. Low sorption and fast dissipation of the herbicide saflufenacil and surfasse soils and subsoils of an eroded Prairie landscape. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 60, p. 10941–10946, 2012.

RIBANI, M.; BOTTOLI, C. B. G.; COLLINS, C. H.; JARDIM, I. C. S. F.; MELO, L. F. C. Validation for chromatographic and electrophoretic methods. **Química Nova**, v. 27, p. 771-780, 2004.

RODRIGUES, E. T.; ALPENDURADA, M. F.; RAMOS, F.; PARDAL, M. A. Environmental and human health risk indicators for agricultural pesticides in estuaries. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 150, p. 224-231, 2018.

SALAZAR-LEDESMA, M.; PRADO, B.; ZAMORA, O.; SIEBE, C. Mobility of atrazine in soils of a wastewater irrigated maize field. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 255, p. 73-83, 2018.

USEPA - Pesticide Fact Sheet, Saflufenacil; Office of Prevention, Pesticides, and Toxic Substances: Washington DC, 2009.

VIVIAN, R.; QUEIROZ, M. E. L. R.; JAKELAITIS, A.; GUIMARÃES, A. A.; REIS, M. R.; CARNEIRO, P. M.; SILVA, A. A. Persistência e lixiviação de ametryn e trifloxysulfuron-sodium em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 111-124, 2007.

WANG, P.; KELLER, A. A. Sorption and desorption of atrazine and diuron onto water dispersible soil primary size fractions. **Water Research**, v. 43, p. 1448-1456, 2009.

YAVARI, S.; MALAKAHMAD, A.; SAPARI, N. B. Biochar efficiency in pesticides sorption as a function of production variables—a review. **Environmental Science Pollution Research**, v. 22, p. 13824–13841, 2015.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa comprovou a importância de se conhecer as interações das moléculas do saflufenacil com os atributos do solo para que os profissionais possam fazer recomendações seguras desse herbicida. Os dados dessa pesquisa permitem entender relatos de produtores de casos de insucesso do uso desse herbicida. Além disso, permitem concluir que existem riscos significativos do uso inadequado desse herbicida, vindo a causar contaminação em corpos de água subterrâneos além de perda da eficiência no controle das plantas daninhas.

Nesta dissertação foram realizados estudos sobre a sorção e a lixiviação do saflufenacil pelo método biológico e cromatográfico. O método biológico foi sensível e eficiente em estimar a presença do saflufenacil no solo. Constatou-se que este herbicida é muito pouco sorvido em solos com baixo teor de matéria orgânica e, em razão disso, muito propenso à lixiviação. Isto implica em alto risco ambiental quando utilizado em solos com baixos teores de matéria orgânica. A adição de matéria orgânica aumenta a sorção e reduz a lixiviação do saflufenacil no Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo.

Entretanto, utilizando a metodologia disponível na literatura não foi possível quantificar a sorção do saflufenacil por cromatografia líquida de alta eficiência. Isto ocorreu porque os modelos matemáticos disponíveis não se ajustaram a cinética de sorção do herbicida. Em razão disso, não se conseguiu definir um tempo de equilíbrio para leitura dos dados plotados pelo equipamento. Esses fatos evidenciam a importância da continuidade dessa pesquisa face a grande utilização desse herbicida em solos tropicais.