

LUCIANE RENATA AGAZZI

**SORÇÃO E LIXIVIAÇÃO DO SAFLUFENACIL EM LATOSSOLOS
COM DIFERENTES ATRIBUTOS**

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
2019

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

T

A262s
2019 Agazzi, Luciane Renata, 1990-
Sorção e lixiviação do saflufenacil em latossolos com
diferentes atributos / Luciane Renata Agazzi. – Viçosa, MG,
2019.
vi, 42 f. : il. ; 29 cm.

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

1. Saflufenacil (Herbicida). 2. Solos - Absorção. 3. Solos -
Lixiviação. 4. Solos - Movimento de herbicidas. 5. pH.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia.
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 632.954

LUCIANE RENATA AGAZZI

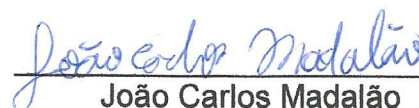
**SORÇÃO E LIXIVIAÇÃO DO SAFLUFENACIL EM LATOSSOLOS
COM DIFERENTES ATRIBUTOS**

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: 05 de abril de 2019.



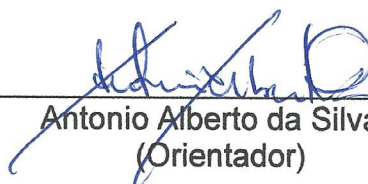
Francisco Cláudio Lopes de Freitas



João Carlos Madalão



Leonardo d'Antonino



Antonio Alberto da Silva
(Orientador)

Aos meus pais Paulina e Francisco,
as minhas irmãs Diane e Lenita,
meus pilares.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus...

Aos meus pais por estarem sempre comigo, pelas palavras de apoio e incentivo. Às minhas irmãs Diane e Lenita, que sempre me deram forças, e seguraram as pontas em casa enquanto eu estava em Viçosa.

A Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia por todo o apoio, estrutura e oportunidade de cursar o mestrado.

Ao meu orientador Antonio Alberto da Silva, e ao meu coorientador Leonardo d'Antonino pela experiência e ensinamentos transmitidos, também pela confiança, paciência e apoio durante todo o período.

Em especial ao Rodrigo Cabral e o Léo Cantoni.

Aos que sempre me ajudaram nos experimentos e nos ensinamentos: Luiz, Julinho, André Dantas, Rodrigo Farias, Maria Carolina, Alba Rocio, Lucas, Adalin, Paulo Sérgio, Douglas, Elisa, Hugo, Matheus, Roxana, Úrsula, Wendel, Christiano, Ivan, Dilma, Larissa, Marcos, Mateus, Ranielli, Vanessa, Emerson, Gustavo, Chico, Leonardo e Lino. A todos integrantes do grupo em Manejo Integrado de Plantas Daninhas, pelo ótimo período de convivência, amizade e risadas.

Ao pessoal da fitopatologia, em especial Jhoni e ao Athus pelo apoio quando cheguei em Viçosa. Ao pessoal do melhoramento de plantas: Andréia, Jeferson, Cleiton C. e Cleiton W.

Às amigas: Scheila, Gisele e Suélen.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de Bolsa de Estudo.

Agradeço de coração a todos de que contribuíram de alguma forma e torceram por mim, sem vocês eu não alcançaria este objetivo!!!

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERENCIAS:	4
INFLUENCIA DA TEXTURA DO SOLO E DO pH NA SORÇÃO DO SAFLUFENACIL EM LATOSSOLOS	7
RESUMO	7
ABSTRACT	8
INTRODUÇÃO.....	9
MATERIAL E MÉTODOS.....	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
REFERÊNCIAS	21
LIXIVIAÇÃO DO SAFLUFENACIL EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES pHs E TEXTURAS	25
RESUMO	25
ABSTRACT	26
INTRODUÇÃO.....	27
MATERIAL E MÉTODOS.....	28
RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
REFERÊNCIAS:	38
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42

RESUMO

AGAZZI, Luciane Renata, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2019. **Sorção e lixiviação do saflufenacil em Latossolos com diferentes características físicas e químicas.** Orientador: Antonio Alberto da Silva.

O saflufenacil vem sendo utilizado no Brasil em mistura com outros herbicidas visando o controle de plantas daninhas resistentes e tolerantes ao glyphosate. Grande parte dessas moléculas atingem o solo, e a dinâmica deste produto dependerá das características físicas e químicas do solo, acredita-se que o pH poderá ter grande influência na dinâmica desse produto com os coloides. Para confirmar essa hipótese, o objetivo desta pesquisa foi estimar a sorção e a lixiviação do saflufenacil em LVA com textura arenosa e argilosa com diferentes valores de pH, utilizando método biológico. Para Latossolo de textura arenosa os valores de pH foram 4,6; 5,2; 6,2; e 6,8, para latossolos de textura argilosa foram 4,6; 5,1; 5,5 e 6,1. Como planta indicadora do saflufenacil na solução do solo foi utilizada a *Beta vulgaris* cultivada em amostras dos Latossolos e substrato inerte (areia lavada). A sorção foi estimada utilizando-se dez doses crescentes de saflufenacil para cada tipo de substrato, sendo de zero a 20 g ha⁻¹ em areia lavada, zero a 30 g ha⁻¹ em Latossolo com textura arenosa, e zero a 70 g ha⁻¹ em Latossolo com textura argilosa. A lixiviação do saflufenacil foi estimada utilizando-se colunas de PVC de 50 cm de comprimento preenchidas com amostras dos referidos solos coletados na profundidade 0-20 cm do perfil. Aplicou-se dose de 70 g ha⁻¹ de saflufenacil no topo das colunas e foi simulada pluviosidade de 60 mm. Conclui-se que houve relação positiva entre o teor de areia e a lixiviação do saflufenacil e negativa entre a sorção com este mesmo atributo dos solos. O aumento do pH diminuiu a sorção do herbicida em ambos os solos estudados e, conseqüentemente, aumentou a lixiviação do mesmo.

ABSTRACT

AGAZZI, Luciane Renata, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2019. **Comportamento do saflufenacil em Latossolos com diferentes características físicas e químicas.** Advisor: Antonio Alberto da Silva.

The saflufenacil has been used in Brazil in combination with other herbicides for the control of resistant and tolerant weeds to glyphosate. Most of these molecules reach the soil, and the dynamics of this product will depend on the physical and chemical characteristics of the soil, it is believed that the pH can have a great influence on the dynamics of this product with the colloids. To confirm this hypothesis, the objective of this research was to estimate the sorption and leaching of saflufenacil in LVA with sandy and clayey texture with different pH values, using a biological method. For sandy texture Latosol the pH values were 4.6; 5.2; 6.2; and 6.8, for clayey Latosol were 4.6; 5.1; 5.5 and 6.1. As a saflufenacil indicator plant in the soil solution, *Beta vulgaris* was grown in samples of Latosol and inert substrate (washed sand). The sorption was estimated using ten increasing doses of saflufenacil for each type of substrate, from zero to 20 g ha⁻¹ in washed sand, zero to 30 g ha⁻¹ in Latosol with sandy texture, and zero to 70 g ha⁻¹ in Latosol with clay texture. Leaching of saflufenacil was estimated using 50 cm long PVC columns filled with samples of said soils collected at 0-20 cm depth of the profile. 70 g ha⁻¹ dose of saflufenacil was applied to the top of the columns and 60 mm rain was simulated. It was concluded that there was a positive relationship between sand content and saflufenacil leaching and negative between sorption with this same attribute of soils. The increase in pH decreased the sorption of the herbicide in both studied soils and, consequently, increased the leaching of the same

INTRODUÇÃO GERAL

A população mundial aumenta a cada ano a demanda por alimentos. Na agricultura, novas tecnologias estão sendo adotadas visando aumentar a produtividade das culturas para suprir esta necessidade. Isto vem sendo possível devido a um conjunto de técnicas produtivas aprimoradas com pesquisas científicas, que modernizaram a agricultura nos últimos anos, geraram cultivares cada vez mais produtivas, em conjunto com o manejo integrado de pragas e doenças (Porto & Soares, 2012; Rosset et al., 2014; Pereira et al., 2015).

Em 2017 foram comercializadas cerca de 539.944 toneladas de ingrediente ativo (i.a.) de agrotóxicos no Brasil, dos quais, mais de 58% corresponderam a herbicidas, sendo o glyphosate o mais vendido com cerca de 173 toneladas de equivalente ácido (IBAMA, 2017). Tais moléculas são utilizadas para controlar plantas daninhas e evitar perdas de produtividade devido a competição com as culturas por água, luz e nutrientes (Peterson et al., 2018).

Sabe-se que a aplicação de herbicidas é indispensável visando minimizar perdas ocasionadas pela interferência de plantas daninhas e viabilizar cultivos agrícolas em grande escala (Marshall et al., 2003; Galon et al., 2017). Todavia, o uso intensivo de herbicidas de um mesmo mecanismo de ação, como o glyphosate, favorece a seleção de indivíduos naturalmente resistentes e dos tolerantes (Green et al., 2011). O herbicida não é o agente de criação da resistência, mas sim, o selecionador da genética naturalmente resistente devido a pressão de seleção imposta por aplicações rotineiras de uma mesma molécula (Duke 2011; Christoffoleti P.J.& Nicolai M., 2016).

Devido ao crescente número de espécies resistentes ao glyphosate e dentre as alternativas para o controle de plantas daninhas, têm-se o saflufenacil (2-chloro-4-fluoro-5-[3-methyl-2,6-dioxo-4-(trifluoromethyl)pyrimidin-1-yl]-N-[methyl (propano-2-yl) sulfamoylbenzamide) (Figura 1). Este herbicida apresenta pressão de vapor $4,5 \times 10^{-12}$ mPa, a temperatura de 25°C, possui baixa volatilidade, alta solubilidade em água em temperatura de 20°C (2.100 mg L^{-1}), apresenta pKa de 4,4, massa molecular de $500,9 \text{ g mol}^{-1}$ (IUPAC, 2017; NCBI, 2017).

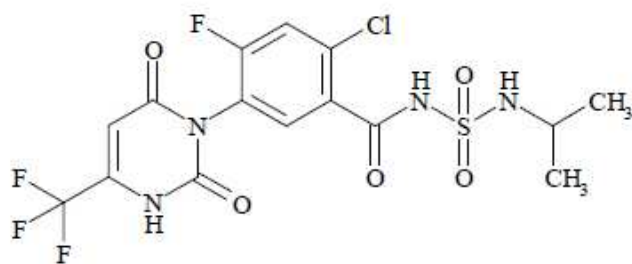


Figura 1. Fórmula estrutural do saflufenacil

O saflufenacil foi lançado no Brasil em 2013, com o aumento de biótipos resistentes ao glyphosate, atualmente, é utilizado nas dessecações em pré e pós-emergência das plantas daninhas eudicotiledôneas, em mistura ou isolado e em pré-colheita (Grossmann et al., 2010; Vidal et al., 2014). É registrado para as culturas do algodão, arroz, banana, batata, café, cana-de-açúcar, citros, feijão, girassol, maçã, mamona, manga, milho, pastagem, soja e trigo (AGROFIT, 2019).

Este herbicida pertence ao mecanismo de ação dos inibidores da protoporfirinogênio oxidase (Protox), (Ashigh & Hall, 2010; Grossmann et al., 2010), enzima encontrada nos cloroplastos e mitocôndrias das células vegetais. Na presença do saflufenacil, ocorre a inibição competitiva da Protox, resultando em alta concentração do composto protoporfirinogênio-IX dentro dos cloroplastos. O aumento desta concentração promove a difusão do protoporfirinogênio-IX para o citoplasma (Smith et al., 1993), onde é convertido em protoporfirina IX, porém, devido a sua natureza lipofílica a protoporfirina IX não consegue retornar ao cloroplasto. Quando ocorre o acúmulo deste pigmento (protoporfirina IX) no citoplasma, sob incidência de luz e presença de oxigênio, gera a formação de radicais livres reativos (oxigênio singleto). Estes radicais, por sua vez, ocasionam a peroxidação dos lipídeos das membranas ocasionando morte celular. Externamente, os danos observados são necrose e morte dos tecidos, posteriormente, podendo levar a planta à morte (Jacob & Lawlor, 1991).

Quando aplicados, grande parte dos herbicidas atingem o solo direta ou indiretamente. Por outro lado, o comportamento no ambiente é determinado por fatores que dependem das propriedades físicas e químicas do herbicida e do solo (Paszko et al., 2016). Dentre as propriedades do herbicida estão o coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}), a capacidade de dissociação ácida (pKa), a solubilidade e o tempo de meia-vida. Dentre as propriedades do solo estão a

matéria orgânica, o pH, umidade, a textura e mineralogia. Fatores climáticos como a temperatura e pluviosidade também influenciam o comportamento dos herbicidas no solo (Coleman et al., 2002; Bonfleur et al., 2015; Cha et al., 2016; Okada et al., 2016).

Devido a crescente quantidade de herbicidas que são utilizados anualmente, torna-se cada vez mais importante conhecer as interações das moléculas com o solo e o ambiente. Compreender estas interações permitem realizar o manejo das plantas daninhas de forma adequada e econômica (Richardson et al., 2007), além de compreender o comportamento destes herbicidas na matriz do solo. Sendo estas interações responsáveis por manter, ou não, o equilíbrio da macro e microbiota, a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e possíveis contaminações dos corpos de águas superficiais e subterrâneas (Mendes et al., 2016).

Conhecer e monitorar as interações dos herbicidas torna-se cada vez mais importante para manter a sustentabilidade e viabilidade dos sistemas agrícolas a longo prazo (Oliveira Jr, 2011; Isworo, et al., 2015). Estes produtos podem contaminar o solo dificultando novos cultivos (*carryover*), diante disso, estudos do comportamento destes compostos no solo são necessários a fim de conhecer e estimar as consequências de sua utilização, evitando possíveis riscos ambientais e para a saúde humana. Quanto maior a sorção das moléculas aos colóides do solo, menor serão as chances de contaminações dos lençóis freáticos devido a lixiviação, porém, poderá ser maior o tempo de meia vida destes compostos (Silva et al., 2007). Na busca de reduzir os impactos ambientais causados pela utilização do saflufenacil realizou-se esta pesquisa visando conhecer a capacidade sortiva e de lixiviação deste herbicida em Latossolos Vermelho-Amarelo com diferentes atributos físicos e químicos.

REFERENCIAS:

AGROFIT – AGROFIT Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. 2019.

Ashigh J., Hall J.C. Bases for interactions between saflufenacil and glyphosate in plants. **Journal Agricultural and Food Chemistry**. 2010;58:7343-7335.

Bonfleur E.J., et al. Organomineral Interactions and Herbicide Sorption in Brazilian Tropical and Subtropical Oxisols under No-Tillage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 2015;64:3934-3925.

Cha J.S et al. Production and utilization of biochar: a review. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. 2016;40:1-15.

Coleman J.O.D. et al. Exploiting plant metabolism for the phytoremediation of persistent herbicides. **Environmental Science and Pollution Research** 2002;28-18. Stoffoletti P.J., Nic

Chri olai M. **Aspectos de resistência de Plantas Daninhas a Herbicidas**. Piracicaba: 2016;33-11.

Duke S.O. Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years? **Pest Management Science**. 2011; 68:512-505.

Galon L. et al. Competitive relative ability of barley cultivars in interaction with turnip. **Planta Daninha**. 2017;35:10-1.

Green J.M., & Owen M.D.K. Herbicide-Resistant Crops: Utilities and Limitations for Herbicide-Resistant Weed Management. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 2011;59:5829-5819.

Grossmann K. et al. The herbicide saflufenacil (Kixxor) is a new inhibitor of protoporphyrinogen IX oxidase activity. **Weed Science**. 2010;58:9-1.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#boletinsanuais>>. 2019.

IUPAC - International Union of Pure And Applied. Disponível em: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/1244.htm#none>. 2017.

Isworo S., Purwanto I., Sabdono A. Impact of Pesticide Use on Organophosphorus and Organochlorine Concentration in Water and Sediment of Rawa Pening Lake, Indonesia. **Research Journal of Environmental Sciences**. 2015;9:240-233.

Jacob J., Lawlor D.W. Stomatal and mesophyll limitations of photosynthesis in phosphate deficient sunflower, maize and wheat plants. **Journal Experimental Botany**. 1991; 1011-1003.

Marshall E.J.P., et al. The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. **Weed Research**. 2003;43:89-77p.

Mendes K.F. et al. Sorption and desorption of mesotrione alone and mixed with S-metolachlor + terbuthylazine in Brazilian soils. **Geoderma**. 2016;28-22.

NCBI – National Center for Biotechnology Information. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Saflufenacil#section=Top>. 2017.

Okada, E. et al. Adsorption and mobility of glyphosate in different soils under no-till and conventional tillage. **Geoderma**. 2016;85-78.

Oliveira M.F., Brighenti A.M. Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: Oliveira Jr. R.S., Constantin J., Inoue M.H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: 2011; 304-263.

Paszko T. et al. Adsorption and degradation of phenoxyalkanoic acid herbicides in soils: a review. **Environmental Toxicology and Chemistry**.2016.

Pereira J.A. et al. O uso de agrotóxicos pelos agricultores da comunidade Baixa do Juá, Santana de Mangueira– PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**.2015;131-126.

Peterson M.A. et al. The challenge of herbicide resistance around the world: a current summary. **Pest Management Science**, 2018.

Porto M.F., Soares W. L. Modelo de desenvolvimento, agrotóxicos e saúde: um panorama da realidade agrícola brasileira e propostas para uma agenda de pesquisa inovadora. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**. 2012; 31-17.

Richardson R.J., Wilson H.P., Hines T.E. Preemergence herbicides followed by trifloxysulfuron postemergence in cotton. **Weed Technology**. 2007;21:6-1.

Rosset, J.S. et al. Agricultura convencional, versus sistemas agroecológicos: modelos, impactos, avaliação da qualidade e perspectivas. **Scientia Agraria Paranaensis**. 2014;94-40.

Santos, E.A. et al. Herbicide detection in groundwater in córrego rico-sp watershed. **Planta Daninha**. 2015; 155-147.

Silva A.A., Vivian R., Oliveira Jr. R.S. Herbicidas: comportamento no solo. In: Silva A.A.; Silva J.F. (Ed.) **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: 2007. 248-189.

Vidal R.A. et al. Mecanismos de ação dos herbicidas. In: Monquero P.A. **Aspectos da Biologia e Manejo das Plantas Daninhas**. São Carlos: 2014; 256-235.

INFLUENCIA DA TEXTURA DO SOLO E DO pH NA SORÇÃO DO SAFLUFENACIL EM LATOSSOLOS

Resumo – Dentre os herbicidas mais utilizados no mundo se destaca o glyphosate, que pode ser aplicado repetidas vezes numa mesma área e safra agrícola. O saflufenacil vem sendo utilizado no controle de plantas daninhas eudicotiledôneas resistentes e/ou tolerante ao glyphosate. Diante disso, torna-se imprescindível conhecer o comportamento desse herbicida em solos com diferentes atributos. Nesta pesquisa, o objetivo foi estimar a sorção do saflufenacil em Latossolos Vermelho-Amarelo (LVA) de textura arenosa e argilosa com diferentes valores de pH. Foram avaliados oito solos: quatro solos arenosos com valores de pH de 4,6; 5,2; 6,2 e 6,8, e quatro solos argilosos com valores de pH de 4,6; 5,1; 5,5 e 6,1, além de areia lavada. Para o LVA de textura arenosa as doses do saflufenacil foram 0; 0,3; 1,2; 2,7; 5; 7,5; 10; 12,5; 15 e 30 g ha⁻¹, para o LVA com textura argilosa as doses 0; 5; 10; 15; 20; 25; 33; 40; 50 e 70 g ha⁻¹. E para areia lavada as doses foram 0; 0,3; 1,2; 2; 2,7; 3,5; 4,2; 5; 10 e 20 g ha⁻¹. Aos 21 dias após a emergência da espécie indicadora (*Beta vulgaris*) foram avaliados os sintomas de intoxicação, atribuindo-se notas de zero a 100. Os sintomas observados nas plantas indicadoras cultivadas em substratos tratados com diferentes doses do saflufenacil foram contabilizados por três avaliadores. Ao aumentar o pH houve menor sorção do herbicida. Conclui-se que existe relação inversa entre teor de areia no solo e a sorção do saflufenacil e que a sorção deste herbicida é influenciada pelo valor de pH.

Palavras-chave: herbicida, bioensaio, ambiente, solos.

INFLUENCE OF SOIL TEXTURE AND pH IN THE SORTION OF SAFLUFENACIL IN LATOSOLS

Abstract – Among the most used herbicides in the world is glyphosate, it is applied repeatedly in the same area and agricultural crop. The saflufenacil has been used in the control of resistant and / or glyphosate tolerant eudicotyledon weeds. Therefore, it is imperative to know the behavior of this herbicide in soils with different attributes. In this research, the objective was to estimate, using biological methods, the sorption of saflufenacil in Red-Yellow Latossolos with sandy and clayey texture with different pH values. Eight soils were evaluated: four sandy soils with pH values of 4.6; 5.2; 6.2 and 6.8, and four clay soils with pH values of 4.6; 5.1; 5.5 and 6.1, in addition to washed sand. For sandy texture LVA the saflufenacil doses were 0; 0.3; 1,2; 2.7; 5; 7.5; 10; 12.5; 15 and 30 g ha⁻¹, for the LVA with clay texture the doses 0; 5; 10; 15; 20; 25; 33; 40; 50 and 70 g ha⁻¹. And for washed sand the doses were 0; 0.3; 1,2; 2; 2.7; 3.5; 4.2; 5; 10 and 20 g ha⁻¹. To estimate the sorption, the variables evaluated were the symptoms of intoxication (notes varying from zero to 100) presented by the indicator plants, grown on substrates treated with different doses of saflufenacil. These evaluations occurred at 21 days after the emergence of the indicator species (*Beta vulgaris*). As the pH increased, there was lower sorption of the herbicide. It is concluded that there is an inverse relationship between soil sand content and saflufenacil sorption and that the sorption of this herbicide is influenced by the pH value.

Keywords: herbicide, bioassay, environment, soils.

INTRODUÇÃO

O método químico de controle das plantas daninhas é o mais usado devido à alta eficiência, rapidez na operação, menor custo e disponibilidade de produtos no mercado (Bajwa et al., 2019; Jat et al., 2019). Entretanto, após aplicações de herbicidas em pré ou em pós-emergência das plantas a maior parte de suas moléculas tem como destino final o solo (Law, 2001).

Ao atingirem o solo, parte das moléculas dos herbicidas podem ser sorvidas pelos coloides e outra parte ficar livre na solução do solo (Marchese, 2007). Apenas as moléculas que estão na solução apresentam atividade biológica, podendo ser absorvidas pelas plantas, promovendo o controle das plantas daninhas e/ou intoxicando as culturas. Além disso, as moléculas disponíveis na solução ao atingirem grandes profundidades podem contaminar águas subterrâneas (Tahir et al., 2016; Verret et al., 2017).

Todos os processos a que estão expostos os herbicidas, como a sorção, volatilização, lixiviação, degradação química ou biológica, são afetados pelos atributos do solo (pH, teor de matéria orgânica, microbiota, textura, e mineralogia) (Six et al., 2002; Bonfleur et al., 2015). Além disso, as características químicas de cada molécula como pKa e Kow poderão interagir de modo diferenciado com os atributos do solo (Chen et al., 2018; Mendes et al., 2019). De modo geral, quanto maior a sorção, menores serão as chances de ocorrer degradação e lixiviação da molécula no perfil do solo, reduzindo os riscos de contaminação de águas subterrâneas (Fahl et al., 1995; Hall et al., 2015). Diante disso, herbicidas retidos aos coloides do solo podem ser seguros quanto a seletividade para a cultura a ser semeada quando utilizados como dessecantes em pré-plantio (Deng et al., 2017).

A estimativa e a quantificação da sorção de um herbicida pelos coloides do solo podem ser realizadas por métodos biológicos e químicos, respectivamente. Dependendo do aparelho utilizado no método químico, o método biológico, em diversas pesquisas, apresenta maior sensibilidade para detecção da presença da molécula na matriz do solo (Langaro, 2018). Isto é possível pois algumas espécies vegetais são altamente sensíveis à presença do herbicida na solução do solo. A sensibilidade dessas espécies normalmente é determinada em ensaios preliminares utilizando substratos inertes como a areia lavada (Matallo et al., 2014).

O saflufenacil é um herbicida de contato, inibidor da Protox, relativamente novo no Brasil, possui pKa de 4,41 e kow de 368,3 é utilizado no controle de eudicotiledôneas (BASF, 2008; Grosmann et al., 2010). Barcellos (2018) estudou o comportamento do saflufenacil em solos com diferentes teores de matéria orgânica e constatou correlação positiva entre a sorção do saflufenacil e os teores de matéria orgânica no solo. Porém, são raras as informações sobre as interações do saflufenacil em solos com diferentes valores de pH.

Nesta pesquisa foi estimada, utilizando métodos biológicos, a sorção do saflufenacil em Latossolos com textura arenosa e argilosa com diferentes valores de pH. Espera-se que os resultados dessa pesquisa possam assegurar aos técnicos recomendações do saflufenacil tanto do ponto vista agrônômico quanto ambiental.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. As amostras de dois solos, Latossolo Vermelho-Amarelo com textura argilosa da região de Viçosa-MG e de Latossolo Vermelho-Amarelo com textura arenosa da região de Rio Paranaíba-MG, foram coletadas na camada superficial de 0-20 cm, destorroadas, peneiradas em malha de 2 mm e submetidas a análise química (Tabela 1).

O Latossolo Vermelho-Amarelo com textura argilosa foi submetido à calagem com doses de carbonato de cálcio (CaCO_3) e carbonato de magnésio (MgCO_3) equivalentes as doses de calcário de 0; 2,0; 3,0 e 4,1 t ha^{-1} . O Latossolo Vermelho-Amarelo com textura arenosa foi submetido à calagem com doses de CaCO_3 e MgCO_3 correspondentes as doses de 0; 0,5; 1,0 e 1,6 t ha^{-1} de calcário. Os solos foram incubados pelo período de 20 dias, e a escolha por esse curto período foi devido a matéria prima dos reagentes utilizados (CaCO_3 e MgCO_3) serem de alta pureza e rápida reação ao atingirem os respectivos valores de pH das tabelas 1 e 2. Realizaram-se correções de umidade para manter os solos em capacidade de campo. Após este período, foram secos, destorroados, peneirados em malha de 4 mm e, posteriormente, realizadas novas análises químicas e físicas (Tabela 1 e 2).

Tabela 1. Atributos químicos e físicos Latossolos Vermelho-Amarelo com textura arenosa.

Tratamento	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	(T)	V	M	MO
		-mg dm ⁻³ -		-----cmol _c dm ⁻³ -----					---%---		
solo 1	4,6	0,3	12	0,22	0,07	0,75	1,7	2,02	15,8	70,0	0,67
solo 2	5,2	0,4	16	0,88	0,21	0,0	1,6	2,73	41,4	0,0	0,67
solo 3	6,2	0,6	12	1,58	0,31	0,0	0,9	2,84	68,3	0,0	0,67
solo 4	6,8	0,6	12	1,77	0,37	0,0	0,3	2,47	87,9	0,0	0,67
Solo	A. Grossa		A. Fina		Silte		Argila		Classe Textural		
	%										
solo 1	28		57		8		7		Areia Franca		
solo 2	26		63		4		7		Areia Franca		
solo 3	28		59		6		7		Areia Franca		
solo 4	32		57		5		5		Areia Franca		

Análises realizadas no Laboratório de Análises de Solo Viçosa, segundo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1997).

Tabela 2. Atributos físicos e químicos do Latossolo Vermelho-Amarelo com textura argilosa.

Tratamento	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	(T)	V	M	MO
		-mg dm ⁻³ -		-----cmol _c dm ⁻³ -----					---%---		
solo 5	4,6	1,0	22	0,98	0,16	0,85	4,8	6,00	20	41,5	1,48
solo 6	5,1	1,1	18	2,64	0,53	0,0	3,1	6,32	51	0,0	1,48
solo 7	5,5	1,2	22	3,26	0,64	0,0	2,5	6,46	61	0,0	1,48
solo 8	6,1	0,9	24	4,26	0,82	0,0	1,6	6,74	76	0,0	1,48
Solo	A. Grossa		A. Fina		Silte		Argila		Classe Textural		
	%										
solo 5	19		12		19		51		Argila		
Solo 6	18		11		14		57		Argila		
solo 7	18		10		16		56		Argila		
solo 8	17		11		20		52		Argila		

Análises realizadas no Laboratório de Análises de Solo Viçosa, segundo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1997).

Foram conduzidos dois experimentos, um com solos arenosos e outro com solos argilosos, ambos em esquema fatorial 4 x 10, com quatro repetições, e delineamento inteiramente casualizado (DIC), onde o primeiro fator foi constituído por 4 substratos e o segundo fator por 10 doses crescentes de saflufenacil (Tabela

3), derivadas de uma solução estoque na dose de 100 g ha⁻¹. Mais um substrato inerte (areia lavada) para elaboração da curva-padrão de sorção.

A areia foi peneirada em malha 4 mm, lavada para remover excesso de impurezas, e tratada com HCl – 10% v/v, por 36 horas. A lâmina de solução ácida foi mantida a 10 cm acima do nível do substrato e posteriormente, a areia foi lavada com água corrente, para remoção do excesso de ácido até atingir pH 7,0 aproximadamente.

Para determinar a espécie indicadora e as doses de saflufenacil a serem trabalhadas neste experimento, foram realizados dois ensaios preliminares. O primeiro utilizando 8 espécies (abóbora, beterraba, cenoura, melancia, pepino, pimentão, sorgo e tomate) cultivadas em areia e lavada tratada com doses crescentes de saflufenacil. Dentre estas, a espécie mais sensível ao saflufenacil foi a beterraba (dados não apresentados). O segundo ensaio preliminar foi realizado utilizando doses crescentes de saflufenacil em cada um dos solos e na areia lavada, com a espécie indicadora (*Beta vulgaris*), a fim de determinar o intervalo de doses para obter os pontos que permitam ajustar o modelo matemático.

Tabela 3. Doses do saflufenacil (g ha⁻¹) aplicadas nos substratos Areia Lavada, Latossolos Vermelho-Amarelo arenoso e Latossolos Vermelho-Amarelo argiloso.

Dose (g ha ⁻¹)	Areia lavada	LVA arenoso	LVA argiloso
Dose 1	0,0	0,0	0,0
Dose 2	0,3	0,3	5,0
Dose 3	1,2	1,2	10,0
Dose 4	2,0	2,7	15,0
Dose 5	2,7	5,0	20,0
Dose 6	3,5	7,5	25,0
Dose 7	4,2	10,0	33,0
Dose 8	5,0	12,5	40,0
Dose 9	10,0	15,0	50,0
Dose 10	20,0	30,0	70,0

As unidades experimentais foram constituídas de vasos de polietileno com capacidade de 0,3 L e fundo vedado, preenchidas com substrato, aferidas com balança digital a fim de manter o peso igual em todas as unidades experimentais de mesmo substrato. Posteriormente, na superfície dos vasos, aplicou-se

saflufenacil com pulverizador pressurizado a CO₂, equipado com pontas TT 110 02, calibrado para aplicar volume de calda de 180 L ha⁻¹. Após a aplicação, o solo de cada unidade experimental foi homogeneizado, para posterior semeio de 5 sementes da espécie indicadora. Após a emergência, foi realizado o desbaste mantendo-se de 3 plantas por vaso.

Aos 21 dias após a emergência (DAE) das plantas os sintomas de intoxicação foram avaliados por meio de observação visual na parte aérea, atribuindo-se notas de acordo com a escala percentual, onde 0% corresponde à ausência de injúrias e 100% à morte das plantas (SBCPD, 1995). Após a avaliação, a parte aérea foi cortada e levada à estufa de circulação de ar forçado (70 ± 2 °C) até atingir massa constante. Em seguida, determinou-se a massa seca da parte aérea (MSPA) utilizando balança de precisão analítica (0,0001 g).

Para avaliar os dados de intoxicação e da matéria seca, em função das doses crescentes do herbicida, utilizou-se gráfico dispersão, onde eixo Y corresponde a variável de interesse e, o eixo X, corresponde a dose do saflufenacil.

Os dados foram ajustados ao modelo de regressão não linear proposto por Streibig et al. (1993) e adaptado por Seefeldt et al. (1995):

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

Sendo, **Y** a variável de interesse, **x** a dose do herbicida (L ha⁻¹), **D** é o limite superior da curva, **C** é limite inferior da curva, **C₅₀** é a dose-resposta que proporciona 50% de resposta da variável, e **b** é a declividade da curva em torno da C₅₀.

A partir dos dados da C₅₀ para cada solo e para a areia, calculou-se a relação de sorção (RS) do solo em relação à resposta obtida em areia para a espécie indicadora (Souza, 1994), com a seguinte equação:

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

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor de C_{50} determinado para o saflufenacil em material inerte (areia lavada) foi de $0,35 \text{ g ha}^{-1}$. O baixo valor de C_{50} do herbicida em areia é devido aos poucos sítios de ligações que estão presentes na areia, quando comparados ao solo com presença de matéria orgânica e argila. Estes dados indicam que o saflufenacil ficou disponível na solução podendo ser absorvido pela espécie indicadora (Figura 1 e Tabela 4).

A intoxicação causada pelo saflufenacil nas plantas de beterraba foi influenciada pelo valor do pH e pelo tipo de substrato (Figuras 1 e 2 e Tabela 4). No solo 1 pH 4,6, a dose de saflufenacil para causar 50% de intoxicação da espécie indicadora (C_{50}) foi de $4,23 \text{ g ha}^{-1}$ e a relação de sorção (RS) foi 11,07 (Figura 1 e tabela 4). Já no solo 2 pH 5,2, a dose necessária para causar 50% de intoxicação da espécie indicadora foi de $1,58 \text{ g ha}^{-1}$ (Figura 1). Com o aumento do pH de 4,6 para 5,2, a C_{50} e a RS foram menores no solo 2 com pH 5,2, indicando menor potencial de sorção do solo 2 quando comparado ao solo 1 (ambos de textura arenosa). Isto indica que o saflufenacil ficou mais disponível na solução com o aumento do pH do solo (Figura 1 e Tabela 4).

Em razão disso, considerando que o saflufenacil é utilizado como herbicida dessecante, fazendo-se o semeio da cultura logo após aplicações desse herbicida, em solos com textura arenosa e pH corrigido, poderá resultar em prejuízos aos produtores. Estes prejuízos poderão ocorrer quanto a cultura a ser semeada apresenta baixa tolerância ao saflufenacil, como o milho e o sorgo.

Os maiores sintomas de intoxicação, em solos de textura arenosa, foram observados em pH 6,2 onde a C_{50} de $0,46 \text{ g ha}^{-1}$ e a RS 0,32. Em pH 6,8 observou-se que os valores de C_{50} ($0,85 \text{ g ha}^{-1}$) e RS (1,44) começam a aumentar. Em casos de um herbicida derivado de ácido fraco como o saflufenacil, espera-se que com o aumento de pH o valor de C_{50} e RS diminuam, pois, o herbicida tende a ficar mais disponível na solução do solo e conseqüentemente lixiviar mais. No entanto, este comportamento foi observado somente até o pH 6,2 e com o aumento do pH (pH 6,8) a C_{50} e a RS aumentaram ao invés de diminuir (Figura 1 e Tabela 4).

Barcelos Junior (2018) estudando a sorção do saflufenacil em substratos com diferentes teores de matéria orgânica observou que com o aumento do teor de

matéria orgânica aumentou o pH dos substratos e aumentou a C_{50} . O autor explica ainda que a maior C_{50} ocorreu devido ao aumento das ligações do herbicida com os sítios de ligações da matéria orgânica. No entanto, o que pode ter ocorrido em ambos os estudos é a degradação (química ou biológica) da molécula devido ao aumento do pH, visto que na presente pesquisa não há influência da matéria orgânica e houve aumento da C_{50} .

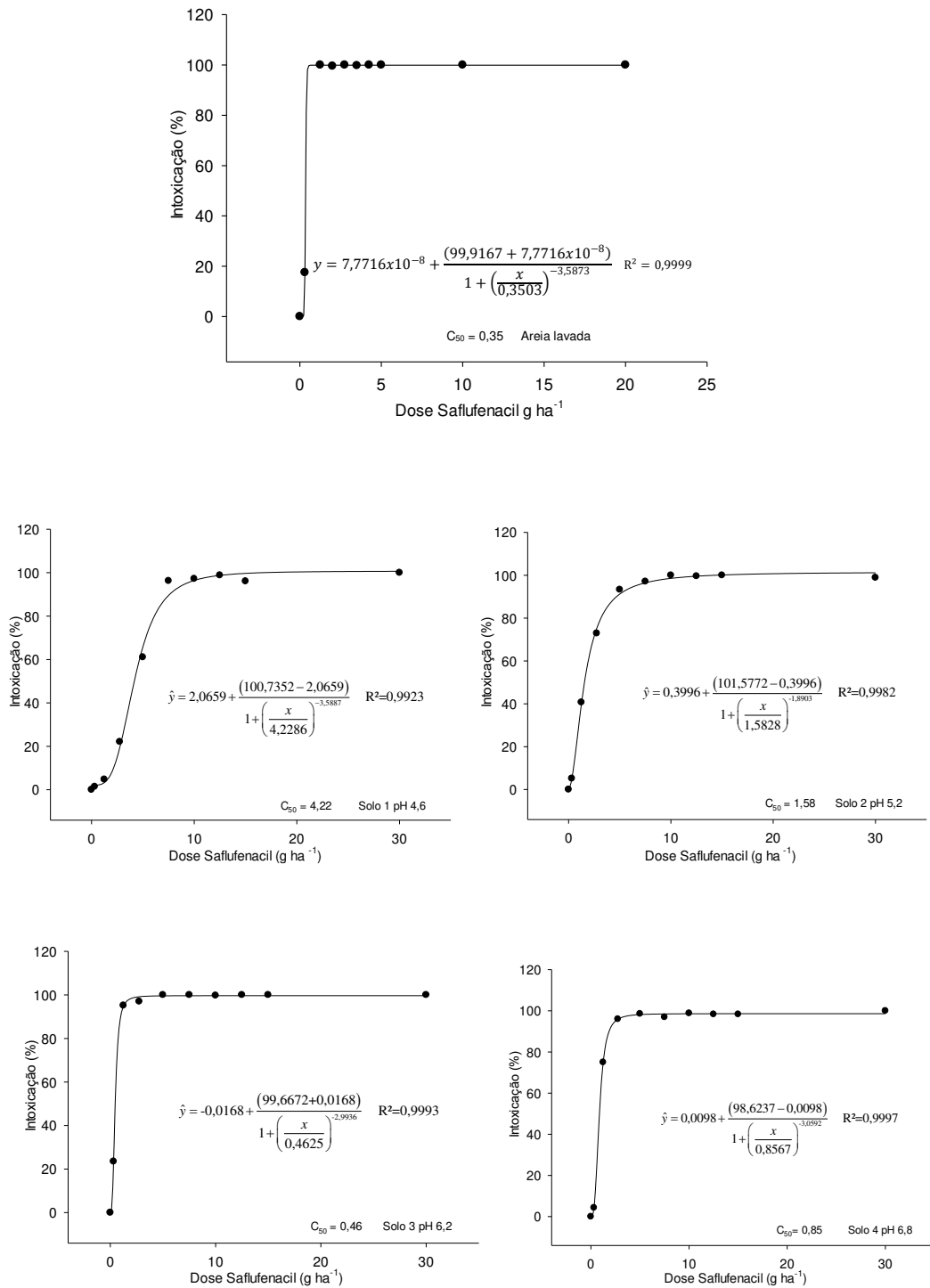


Figura 1. Intoxicação de plantas de beterraba cultivadas em areia lavada e em amostras de Latossolos Vermelho-Amarelo com textura arenosa com diferentes valores de pH, tratadas com doses crescentes de saflufenacil aos 21 dias após a emergência.

Nos solos argilosos o saflufenacil apresentou maior sorção no pH 4,6, com C_{50} de 6,97 g ha⁻¹ e RS de 18,90 (Figura 2 e tabela 4). No solo 6 pH 5,1, houve aumento na disponibilidade do herbicida com conseqüente redução da C_{50} (5,67 g ha⁻¹) e RS (15,19). Com o aumento do pH de 4,6 para 5,1 nos solos de textura argilosa ocorreu redução dos valores C_{50} e RS (Figura 2 e tabela 4).

Nos substratos arenosos a menor C_{50} foi de 0,46 g ha⁻¹ no solo 3 com pH 6,2, e o maior valor de C_{50} foi de 4,23 g ha⁻¹ no solo 1 com pH 4,6 (Figura 1). Já nos substratos argilosos o menor valor de C_{50} foi de 5,67 g ha⁻¹ no solo 6 pH 5,1 e o maior valor de C_{50} foi de 6,96 g ha⁻¹ no solo com pH 4,6 (Figura 2). Estas diferenças se devem ao conjunto de características físicas e químicas de cada solo, os solos com maior teor de argila tendem a reter maior quantidade de herbicida devido ao maior teor de argila e de matéria orgânica (Tabelas 1, 2 e 4) (Gray et al., 2000; Silva et al., 2007). Resultados semelhantes foram observados por Hixon (2008), ao estudar o comportamento do saflufenacil em solos canadenses pelo método cromatográfico, observou que o teor de argila influenciou na sorção do herbicida, sendo que, quanto maior o teor de argila menor a dessorção.

Observou-se que em ambas as texturas estudadas o pH baixo (4,6) proporcionou maior C_{50} e maior RS, indicando que ocorre maior sorção do saflufenacil neste valor de pH, e menor potencial de lixiviação. No entanto, com o aumento gradativo do pH observou-se que quanto maior o pH menor foi a RS e a C_{50} (do pH 4,6 até pH 6,2 em solos de textura arenosa). E a partir do pH 6,8 a RS e a C_{50} voltaram a aumentar, indicando que possivelmente a molécula não está ativa na solução do solo. No solo de textura argilosa ocorreu comportamento semelhante, porém, o aumento da RS e da C_{50} já foram observados a partir do pH 5,5.

Dados divulgados pela Environmental Protection Agency (EPA), apontam solubilidade do saflufenacil até pH 7, segundo a agência não foi possível quantificar a solubilidade do produto à pH 9,0 devido a degradação da molécula neste pH (EPA, 2009). Dados do EPA (2009), apontam ainda, que o tempo de meia-vida do saflufenacil em corpos de água alcalina pode ser menor que uma semana, e no solo variam entre um a 36 dias, dependendo das características físicas, químicas, biológicas e de temperatura.

Ao estudar a sorção do sulfentrazone, resultados semelhantes aos deste estudo foram encontrados por Grey et al. (1997). Estes autores observaram que

entre as variáveis estudadas, o pH teve maior efeito sobre a adsorção e mobilidade do sulfentrazone. Os autores afirmam ainda que o aumento do pH disponibilizou maior quantidade de moléculas de sulfentrazone na solução do solo, e a adsorção diminuiu. Chen, et al. (2018) ao estudarem o comportamento de atrazine também concluíram que o pH pode afetar significativamente a degradação do herbicida.

Nesta pesquisa, pode ter ocorrido degradação do saflufenacil, devido ao aumento do pH. Outro fator importante é que os experimentos foram conduzidos em de casa de vegetação (de vidro) com pouca circulação de ar, onde a temperatura alcançava 32 °C ou mais. Portanto, as condições de umidade, temperatura e pH também podem ter favorecido uma possível degradação química do saflufenacil. Ou ainda, tais condições podem ter favorecido a degradação biológica.

Martinez et al. (2008), ao estudar os microorganismos que promovem a degradação do Sulfentrazone, observaram que a atividade da microbiota pode ser influenciada pelas características físicas e químicas do solo, temperatura e pela umidade. Onde a umidade, a temperatura e o pH promovem a disponibilidade do produto na solução do solo para o ataque microbiano, além do efeito sobre o metabolismo, proliferação e atividade microbiana.

A supressão de poluentes pode ser alcançada através da degradação química, microbiana (biodegradação) ou fotólise (El-Geundi et al., 2013; Thomas et al., 2014). Estes mecanismos de degradação podem ocorrer de forma isolada ou simultaneamente no perfil do solo (Martinez et al., 2008). A velocidade de degradação de moléculas depende das propriedades do solo, do herbicida e condições climáticas (Hulscher & Cornelissen, 1996; Gray et al., 2000; Paraíba et al., 2003). E o pH tem forte influência na velocidade das reações, sendo estas dependentes também da origem do herbicida (derivados de ácidos e bases fracas ou não iônicos) (De Castro Peixoto et al., 2014).

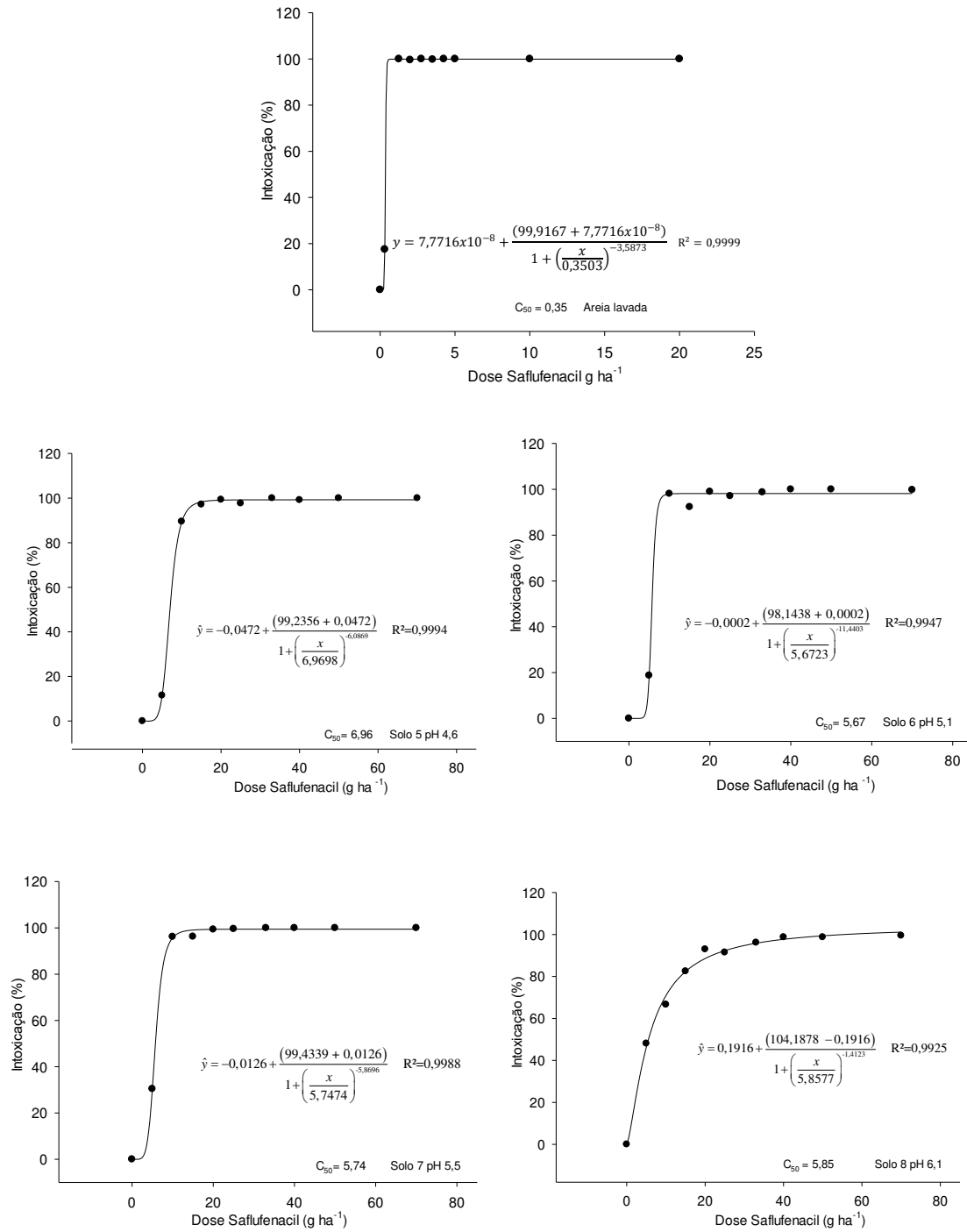


Figura 2. Intoxicação de plantas de beterraba cultivadas em areia lavada e em amostras de Latossolos Vermelho-Amarelo com textura argilosa com diferentes valores de pH, tratadas com doses crescentes de saflufenacil aos 21 dias após a emergência.

Tabela 4. 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	pH	C_{50} (g ha ⁻¹)	RS
Areia lavada	-	0,3503	-
Solo 1	4,6	4,23	11,07
Solo 2	5,2	1,58	3,52
Solo 3	6,2	0,46	0,32
Solo 4	6,8	0,86	1,44
Solo 5	4,6	6,96	18,90
Solo 6	5,1	5,67	15,19
Solo 7	5,5	5,74	15,38
Solo 8	6,1	5,86	15,72

Solos de 1 a 4: Latossolo Vermelho-Amarelo com textura arenosa; solos de 5 a 8: Latossolo Vermelho-Amarelo com textura argilosa.

Os resultados gerais obtidos neste trabalho sugeriram que o saflufenacil é um herbicida com baixo potencial de sorção, e esse processo é influenciado pelos atributos do solo como pH, teor de matéria orgânica e argila.

Conclui-se que existe relação inversa entre teor de areia no solo e a sorção do saflufenacil e que a sorção deste herbicida é influenciada pelo valor de pH. Maior sorção ocorre em Latossolos com menor valor de pH.

REFERÊNCIAS

Bajwa A.A. et al. Chemical control of parthenium weed (*Parthenium hysterophorus* L.) in two contrasting cultivars of rice under direct-seeded conditions. **Crop Protection**. 2019;117:26-36.

Barcellos Jr. L.H. **Comportamento do saflufenacil em latossolos com diferentes teores de matéria orgânica**. [dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2018.

BASF Agricultural Products. KIXORTM herbicide: Worldwide Technical Brochure (GL-69288). Agricultural Products Division, Research Triangle Park, NC.2008.

Bonfleur E.J., et al. Organomineral Interactions and Herbicide Sorption in Brazilian Tropical and Subtropical Oxisols under No-Tillage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 2015;64:3934-3925.

Chen L., et al. Degradation of atrazine and structurally related s-triazine herbicides in soils by ferrous-activated persulfate: Kinetics, mechanisms and soil-types effects. **Chemical Engineering Journal**. 2018; 531-523.

De Castro Peixoto, A.L., & Teixeira A.C. Degradation of amicarbazone herbicide by photochemical processes. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**. 2014;275:64-54.

Deng, H., et al. Influence of biochar amendments to soil on the mobility of atrazine using sorption-desorption and soil thin-layer chromatography. **Ecological Engineering**. 2017;390-381.

EPA - Environmental Protection Agency. Disponível em: <https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-118203_01-Aug-09.pdf>. De 2009. Acesso 2017.

El-Geundi M.S., et al. Methomyl adsorption onto cotton stalks activated carbon (CSAC): equilibrium and process design. **Procedia Environmental Sciences**. 2013;17:639-63.

Fahl G.M. et al. pH-Dependent sorption, bioconcentration and algal toxicity of sulfonylurea herbicides. **Aquatic Toxicology**. 1995;187-175.

Grey T.L., et al. Kwon, O Behavior of sulfentrazone in ionic exchange resins, electrophoresis gels, and cation-saturated soils. **Weed Science**. 2000;48;247-239.

Grosmann, K. et al. The herbicide saflufenacil (Kixxor) is a new inhibitor of protoporphyrinogen IX oxidase activity. **Weed Science**. 2010;58:9-1.

Hall K.E. et al. Pesticide sorption and leaching potential on three Hawaiian soils. **Journal of Environmental Management**. 2015;234-227.

Hixson A.C. **Soil Properties Affect Simazine and Saflufenacil Fate, Behavior, and Performance**. [tese]. Raleigh: North Carolina State University, 2008.

Hulscher, T.E.M., Cornelissen, G. Effect of temperature on sorption equilibrium and sorption kinetics of organic micropollutants — a review. **Chemosphere**. 1996;32: 629-609.

Jat, R.K. et al. Tillage, crop establishment, residue management and herbicide applications for effective weed control in direct seeded rice of eastern Indo-Gangetic Plains of South Asia. **Crop Protection**. 2019;33-1.

Langaro, A.C. **Sorção e lixiviação do Sulfentrazone em Latossolo Vermelho-Amarelo aplicado de forma isolada e em mistura com formulações de Glyphosate**. [Tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2018.

LAW S.E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during de 20th century. **Journal of Electrostatics**. 2001; 51:25-42.

Marchese L. **Sorção/dessorção e lixiviação do herbicida ametrina em solos canavieiros tratados com lodo de esgoto.** [Dissertação]. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2007.

Martinez C.O. et al. The effects of moisture and temperature on the degradation of sulfentrazone. **Geoderma**. 2008;147:62-56.

Matallo M.B. et al. Sorption and desorption of suflafenacil in two soils in the state of São Paulo with different physical and chemical attributes. **Planta Daninha**. 2014;399-393.

Mendes K. F. et al. Sorption and desorption of mesotrione alone and mixed with S-metolachlor + terbuthylazine in Brazilian soils. **Geoderma**. 2016;28-2.

Mendes K.F. et al. Natural biochar effect on sorption–desorption and mobility of diclosulam and pendimethalin in soil. **Geoderma**. 2019;347:125-118.

Seefeldt, S.S. et al. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationship. **Weed Technology**. 1995;227-218.

Silva, A.A., Vivian, R., Oliveira Jr., R.S. Herbicidas: comportamento no solo. In: Silva, A.A.; Silva, J.F. (Ed.) **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: 2007;248-189.

Six, J. et al. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – effects of no-tillage. **Agronomie**. 2002;22:775-755.

Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD). **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: 1995. 42.

Souza A.P. **Atividade de oxyfluorfen, 2,4-D e glifosate em solos de diferentes texturas na presença e na ausência de composto orgânico.** [dissertação] Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994.

Streibig, J.C.; RUDEMO, M.; JENSEN, J.E. Dose-response curves and statistical models. In: STREIBIG, J.C; KUDSK, P. (Ed.) **Herbicide bioassay**. 1993; 35-30.

Tahir M. et al. Sorption and leaching potential of isoproturon and atrazine in low organic carbon soil of pakistan under a wheat-maize rotation. **Pedosphere**. 2016; 698- 68.

Thomas S. et al. Degradation of the herbicide isoproturon by a photocatalytic process. **Comptes Rendus Chimie**. 2014;1:831-824.

Verret, V. et al. Can legume companion plants control weeds without decreasing cropyield? A meta-analysis. **Field Crops Research**. 2017;168-158.

LIXIVIAÇÃO DO SAFLUFENACIL EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES pHs E TEXTURAS

Resumo: O saflufenacil é um herbicida de contato, não seletivo, utilizado no controle de plantas daninhas eudicotiledôneas. A lixiviação é a principal forma de transporte de moléculas no solo, no entanto, em excesso pode carregá-los a profundidades suficientes para contaminação do lençol freático. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o potencial de lixiviação do saflufenacil em Latossolos Vermelho-Amarelo com textura arenosa e argilosa e diferentes valores de pH. Foram avaliados oito solos, sendo quatro solos arenosos com valores de pH de 4,6; 5,2; 6,2 e 6,8, e quatro solos argilosos com valores de pH de 4,6; 5,1; 5,5 e 6,1. Colunas de PVC com 10 cm de diâmetro e 50 cm de comprimento, previamente preparadas, foram preenchidas com amostras desses solos. Após isso, foi aplicado saflufenacil na dose de 70 g ha⁻¹ no topo das colunas, após 12 horas foi simulada chuva de 60 mm. Depois de 120 horas com as colunas mantidas na vertical, estas foram seccionadas e o solo foi colocado em vasos, onde foi cultivada a *Beta vulgaris* como planta indicadora da presença do herbicida. Avaliações da intoxicação das plantas indicadoras e o acúmulo de matéria seca da parte aérea dessas plantas foram realizados aos 21 dias após a semeadura. Constatou-se que o saflufenacil no solo com textura argilosa foi lixiviado até a profundidade de 35 cm, enquanto no solo com textura arenosa atingiu profundidades de 40 cm. No solo argiloso, ocorreram mortes de todas as plantas cultivadas nas amostras coletadas nos primeiros 10 cm de profundidade, independentemente do valor de pH. Aplicações do saflufenacil nos Latossolos avaliados (textura arenosa e argilosa) com elevado pH e que contenham baixos teores de matéria orgânica, lixiviaram no perfil do solo. Concluiu-se que aplicações de saflufenacil em solos com pH acima de 5,5 representam risco de contaminação a corpos de água subterrâneos.

Palavras-chave: herbicida, bioensaio, *Beta vulgaris*, impacto ambiental.

LEACHING OF SAFLUFENACIL IN LATOSOLS WITH DIFFERENT pHs AND TEXTURES

Abstract: The saflufenacil is a contact herbicide, not selected, used in the control of weed eudicotiledôneas. Leaching is the main mode of transport of molecules in the soil, however, in excess can transport them to depths sufficient to contaminate the water table. The objective of this research was to evaluate the potential of leaching of saflufenacil in Red-Yellow Latosols with sandy and clayey texture and different pH values. Eight soils were evaluated, four sandy soils with pH values of 4.6; 5.2; 6.2 and 6.8, and four clay soils with pH values of 4.6; 5.1; 5.5 and 6.1. PVC columns 10 cm in diameter and 50 cm in length, previously prepared, were filled with samples of these soils. After that, saflufenacil was applied at the 70 g ha⁻¹ dose at the top of the columns, after 12 hours a 60 mm rainfall was simulated. After 120 hours with the columns held vertically, they were sectioned and the soil was placed in pots, where *Beta vulgaris* was cultivated as an indicator plant. Indications of the intoxication of the indicator plants and the accumulation of dry matter of the aerial part of these plants were realized at 21 days after sowing. It was verified that the saflufenacil in the soil with clay texture was leached to the depth of 35 cm, while in the soil with sandy texture reached depths of 40 cm. In the clay soil, there were deaths of all the plants cultivated in the samples collected in the first 10 cm of depth, independently of the pH value. Applications of saflufenacil in the evaluated Latosols (sandy and loamy texture) with high pH and that contain low levels of organic matter, leached in the soil profile. It was concluded that saflufenacil applications in soils with pH above 5.5 pose a risk of contamination to groundwater bodies.

Keywords: Herbicide, bioassay, *Beta vulgaris*, environmental.

INTRODUÇÃO

A lixiviação é o principal processo de transporte descendente das moléculas nos horizontes do solo. É influenciada pelas características do herbicida, dentre elas, o K_{ow} , pK_a , solubilidade e tempo de meia-vida, seja ele iônico ou não iônico (Silva et al., 2007). A lixiviação também é influenciada pelos atributos do solo, como pH (Oliver et al., 2019), mineralogia (Huang et al., 2015) teores de matéria orgânica e argila (Wang & Keller, 2009), e pelas condições climáticas (Andrade et al., 2010). O deslocamento das moléculas nos perfis do solo também é afetado pela intensidade de lâminas de irrigação, e/ou pluviosidade. Sabe-se que quanto maior a solubilidade dos herbicidas, mais facilmente serão transportados nos perfis do solo (Souza, 2018).

Nos primeiros centímetros do solo é necessário que ocorra lixiviação para promover o controle de sementes de plantas daninhas. Todavia, quando excessiva poderá promover a contaminação do lençol freático (Monquero et al., 2014). Assim, para compreender o comportamento dos herbicidas no ambiente é fundamental o conhecimento dos processos que podem ocorrer no solo.

Alguns herbicidas aplicados em solos com textura arenosa (De Jonge, et al., 2000), pH elevado e baixos teores de matéria orgânica (Barcellos Jr., 2018) tendem a lixiviar mais. O saflufenacil é um herbicida derivado de ácido fraco (pK_a 4,41) (BASF, 2008). Para esses herbicidas quando o pH do solo for igual ao pK_a , espera-se que, as moléculas estejam metade na forma molecular e a outra metade na forma dissociada. Quando o pH do solo for maior que o pK_a do herbicida a capacidade de lixiviação aumenta, visto que, menor será a quantidade de moléculas na forma molecular e maior na forma dissociada (Silva et al., 2007).

Várias pesquisas comprovam a contaminação de águas superficiais e subterrâneas com resíduos de herbicidas (Tanabe et al., 2001; Gooddy et al., 2001; Chen, et al., 2018). Exemplos disso são os resíduos de ametrine, atrazine, simazine, clomazone, glyphosate e hexazone detectados em águas superficiais no estado de São Paulo (Armas et al., 2007). Diante disso, nota-se que a mobilidade das moléculas na matriz do solo aumenta com a diminuição da sorção dos herbicidas pelos colóides do solo.

As propriedades químicas e físicas do solo variam muito de uma região para outra, e estão relacionadas com o material de origem (Cámara et al., 2016). Estas propriedades estão relacionadas com a liberação ou retenção das moléculas de herbicidas na solução do solo, podendo ocasionar variação no controle das plantas daninhas (Gonçalves, 2018). Esta liberação das moléculas também pode acarretar em variabilidade no potencial de lixiviação dos herbicidas ou na sua persistência no solo (Pereira, 2016).

O saflufenacil vem sendo utilizado no Brasil como alternativa de controle de espécies resistentes ou tolerantes ao glyphosate. Apesar da importância de se estudar o comportamento deste herbicida utilizado no Brasil, não há pesquisas com resultados do potencial de lixiviação do saflufenacil em solos tropicais com diferentes características físicas e químicas. Sabe-se que estas características modificam o comportamento do herbicida no solo e, conseqüentemente, a resposta de culturas não tolerantes semeadas em sucessão (Castro Neto, 2014).

Em vista disso, na busca do entendimento do comportamento do saflufenacil em solos tropicais foi realizada esta pesquisa com o objetivo de determinar a lixiviação do saflufenacil em Latossolo Vermelho-Amarelo com textura argilosa e Latossolo Vermelho-Amarelo com textura arenosa com diferentes valores de pH.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação, no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em 2018. As amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) com textura argilosa da região de Viçosa-MG e de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) com textura arenosa da região de Rio Paranaíba-MG foram coletadas na camada superficial de 0-20 cm, em áreas sem histórico de uso de herbicidas.

O LVA com textura argilosa foi submetido à calagem com doses de carbonato de cálcio (CaCO_3) e carbonato de magnésio (MgCO_3) equivalentes as doses de calcário de 0; 2,0; 3,0 e 4,1 t ha^{-1} . O LVA com textura arenosa foi submetido à calagem com doses de CaCO_3 e MgCO_3 correspondentes as doses de 0; 0,5; 1,0 e 1,6 t ha^{-1} de calcário. Os solos foram incubados pelo período de 20 dias, foram mantidos por esse curto período devido a matéria prima dos reagentes utilizados (CaCO_3 e MgCO_3) serem de alta pureza e rápida reação e atingiram os

respectivos valores de pH. Realizaram-se correções de umidade para manter os solos próximos a capacidade de campo. Após este período, foram secos, destorroados, peneirados em malha de 2 mm e, posteriormente, realizada análise química e física (Tabela 1 e 2). A numeração é correspondente as características físicas e químicas de cada solo conforme as tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos Latossolos Vermelho-Amarelo com textura arenosa.

Tratamento	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	(T)	V	M	MO
		-mg dm ⁻³ -		-----cmol _c dm ⁻³ -----					---%---		
solo 1	4,6	0,3	12	0,22	0,07	0,75	1,7	2,02	15,8	70,0	0,67
solo 2	5,2	0,4	16	0,88	0,21	0,0	1,6	2,73	41,4	0,0	0,67
solo 3	6,2	0,6	12	1,58	0,31	0,0	0,9	2,84	68,3	0,0	0,67
solo 4	6,8	0,6	12	1,77	0,37	0,0	0,3	2,47	87,9	0,0	0,67

Solo	A. Grossa		A. Fina		Silte	Argila	Classe Textural
	%						
solo 1	28		57		8	7	Areia Franca
solo 2	26		63		4	7	Areia Franca
solo 3	28		59		6	7	Areia Franca
solo 4	32		57		5	5	Areia Franca

Análises realizadas no Laboratório de Análises de Solo Viçosa, segundo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1997).

Tabela 2. Atributos físicos e químicos do Latossolo Vermelho-Amarelo com textura argilosa.

Tratamento	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	(T)	V	M	MO
		-mg dm ⁻³ -		-----cmol _c dm ⁻³ -----					---%---		
solo 5	4,6	1,0	22	0,98	0,16	0,85	4,8	6,00	20	41,5	1,48
solo 6	5,1	1,1	18	2,64	0,53	0,0	3,1	6,32	51	0,0	1,48
solo 7	5,5	1,2	22	3,26	0,64	0,0	2,5	6,46	61	0,0	1,48
solo 8	6,1	0,9	24	4,26	0,82	0,0	1,6	6,74	76	0,0	1,48

Solo	A. Grossa		A. Fina		Silte	Argila	Classe Textural
	%						
solo 5	19		12		19	51	Argila
Solo 6	18		11		14	57	Argila
solo 7	18		10		16	56	Argila
solo 8	17		11		20	52	Argila

Análises realizadas no Laboratório de Análises de Solo Viçosa, segundo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1997).

Foram realizados dois experimentos, sendo um para o LVA Argiloso e outro para o LVA com textura arenosa, ambos no esquema fatorial 4 x 10, com três repetições, em delineamento inteiramente casualizado. O primeiro fator corresponde aos valores de pH e o segundo pelas dez profundidades de solo nas colunas (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 35-40, 40-45 e 45-50 cm). Todas as parcelas receberam aplicação de saflufenacil, exceto as testemunhas de cada solo.

Colunas de PVC de 10 cm de diâmetro por 50 cm de comprimento, revestidas de parafina para evitar o escorrimento lateral da água, foram preenchidas com os solos. Após isto, foram imersas em uma caixa com água até 80% da altura das colunas, pelo período de 36 horas, até atingir a saturação. Posteriormente, as colunas foram deixadas na posição vertical por 36 horas para drenar o excesso de água e atingir valores próximos a sua capacidade de campo.

Em seguida, o herbicida foi aplicado no topo das colunas, com pulverizador pressurizado a CO₂, munido de pontas TT 110 02, calibrado para aplicar o volume de calda de 180 L ha⁻¹. O saflufenacil foi aplicado na dose de 70 g ha⁻¹. As aplicações foram realizadas com temperatura de 25 °C, velocidade do vento de 5 km/h e a umidade relativa de 70%.

Doze horas após a pulverização do herbicida, as colunas foram submetidas a aplicação de uma lâmina de água de 60 mm, monitorada por pluviômetros. Em seguida, foram mantidas em repouso, na vertical, por 120 horas para drenagem do excesso de água. Após isso, as colunas foram cortadas em segmentos de 5 cm, e as amostras de solo contidas em cada segmento foram homogeneizadas, transferidas para vasos com capacidade de 0,3 L, e cultivadas nestes, a espécie indicadora beterraba (*Beta vulgaris*) por 21 dias com os solos mantidos próximo a capacidade de campo.

Os sintomas de intoxicação foram avaliados por meio de observação visual na parte aérea das plantas aos 21 dias após emergência (DAE), atribuindo-se notas de acordo com a escala percentual de 0 a 100, onde 0% corresponde à ausência de injúrias e 100% à morte das plantas (SBCPD, 1995).

Aos 21 DAE a parte aérea das plantas foi cortada e levada à estufa de circulação de ar forçado (70 ± 2 °C) até atingir massa constante e em seguida, determinou-se a matéria seca da parte aérea utilizando balança de precisão analítica (0,0001 g).

Para avaliar a intoxicação da planta indicadora pelo saflufenacil em função da profundidade, utilizou-se gráfico de barras com desvio-padrão, no eixo Y a profundidade e, no eixo X, a intoxicação. Para representação da matéria seca da parte aérea da planta indicadora do saflufenacil em função da profundidade, utilizou-se gráfico barras com desvio-padrão, no eixo Y a profundidade e, no eixo X, a matéria seca. As comparações foram realizadas utilizando-se estatística descritiva. As análises gráficas foram feitas utilizando-se o programa SigmaPlot 12.5 para Windows.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o LVA com textura arenosa com pH 4,6 observou-se que o herbicida lixiviou até a profundidade de 20 cm ocasionando morte das plantas nas profundidades 10-15 e 15-20 cm. O acúmulo de matéria seca da parte aérea (MSPA) foi reduzido em 80% e 85% nas profundidades 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. Neste solo, foi possível perceber que o herbicida se deslocou das camadas superiores, não ocorrendo a morte das plantas por completo nas camadas 0 -10 cm (Figura 1).

O saflufenacil é inibidor da protoporfirinogênio oxidase (Protox), e a atividade desses herbicidas acontece na presença de luz. Os sintomas de intoxicação encontrados nas folhas da beterraba condizem com os sintomas causados por inibidores da Protox. Tais sintomas foram expressos por manchas nas folhas devido ao extravasamento celular causado pelo rompimento das membranas celulares, seguidas por necrose e morte dos tecidos (Grossmann et al., 2010; Silva et al., 2007). Notou-se menor crescimento da parte aérea das plantas no LVA com textura arenosa com pH 4,6, em relação aos outros solos com pH mais elevados. Isto pode ter sido favorecido, também, pela menor disponibilização de nutrientes, visto que, a disponibilidade de nutrientes é afetada em valores de pH abaixo de 5,0 ou superiores a 7,0 (Malavolta, 1979).

No LVA com textura arenosa com pH 5,2, observou-se intoxicação da espécie indicadora até a profundidade de 25 cm. Houve maior distribuição do saflufenacil nas camadas da coluna, e a maior concentração ficou na profundidade 10-15 cm onde causou a morte de todas as plantas (Figura 1). O saflufenacil é um herbicida derivado de ácido fraco, com pKa de aproximadamente 4,4. Em

condições em que o pH do substrato é superior ao pKa, como neste solo (pH 5,2), as moléculas do herbicida tendem a ficar mais disponíveis na solução do mesmo. Isto ocorre devido a maior quantidade de cargas negativas no solo que repulsam as ligações com as moléculas do herbicida na forma aniônica, sendo estas carregadas pelas lâminas de água (Silva et al., 2007; De Paula et al., 2016; Martins et al., 2018).

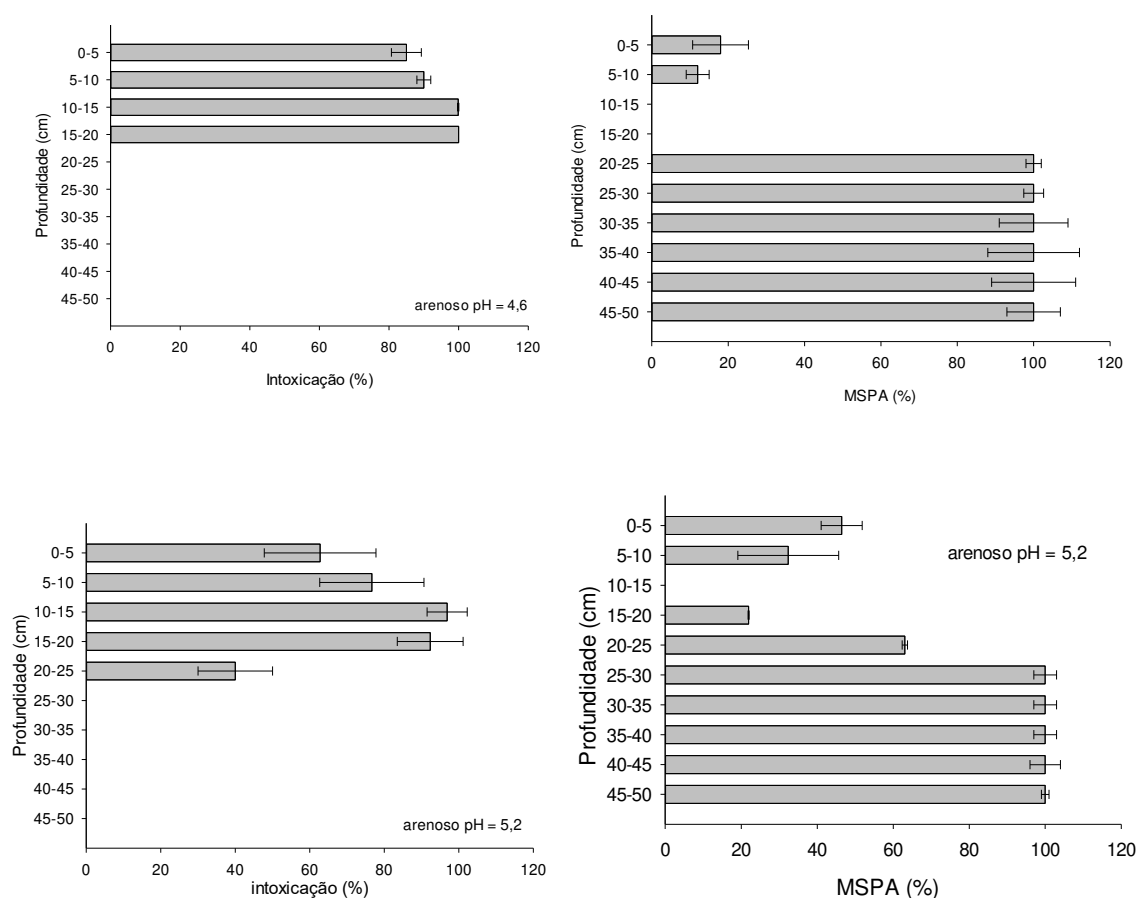


Figura 1. Intoxicação e acúmulo de matéria seca de plantas de beterraba cultivadas em amostras de solos coletadas a diferentes profundidades das colunas preenchidas com Latossolo Vermelho-Amarelo com textura arenosa (pH 4,6 – Solo 1; pH 5,2 – Solo 2), pulverizadas em seu topo com saflufenacil e submetidas a chuva de 60 mm. Avaliações realizadas aos 21 dias após a emergência das plantas indicadoras.

No LVA com textura arenosa com pH 6,2, foi observada lixiviação do herbicida até a profundidade de 30 cm, com intoxicação das plantas nas camadas superiores (0-5 e 5-10 cm) e morte de plantas nas camadas entre 10 e 25 cm. Percebe-se que a lixiviação do herbicida nesse solo foi ainda maior do que no LVA com textura arenosa com pH 4,6 e pH 5,2 (Figuras 1 e 2). Essa maior distribuição

no perfil da coluna pode ter ocorrido por se tratar de solo arenoso e baixo teor de matéria orgânica e argila. Além disso, o solo com pH de 6,2 pode ter favorecido a dissociação da molécula do herbicida, formando íons carregados negativamente apresentando assim maior mobilidade com a lâmina de água de 60 mm.

O LVA com textura arenosa com pH 6,8, apresentou valores de intoxicação até a profundidade 35 cm. Nas camadas iniciais (0-15 cm) os sintomas de intoxicação variaram de 60 a 80% indicando menor concentração do herbicida em relação à profundidade de 15 a 30 cm onde se verifica a morte de plantas. A lixiviação do saflufenacil no LVA de textura arenosa e com pH 6,8 atingiu a profundidade de 35 cm, onde ocasionou cerca de 70% de intoxicação e redução da MSPA (Figura 2).

Barcellos Jr. (2018), ao estudar a lixiviação do saflufenacil em solo arenoso (pH 6,8), com pluviosidade semelhante ao deste estudo (60 mm), confirmou a lixiviação até a profundidade 25 cm. Porém, o teor de matéria orgânica do estudo do autor foi de 3%, o que possivelmente favoreceu maior sorção do herbicida e consequentemente a menor intoxicação das plantas. No presente estudo, o teor de matéria orgânica do LVA de textura arenosa foi de 0,67% o que possivelmente favoreceu a lixiviação do saflufenacil até a profundidade de 35 cm. Os resultados encontrados corroboram com os de Freitas (2014) que ao estudar o comportamento do sulfentrazone em diferentes substratos observou que solos com menores teores de matéria orgânica e argila apresentaram maior potencial de lixiviação.

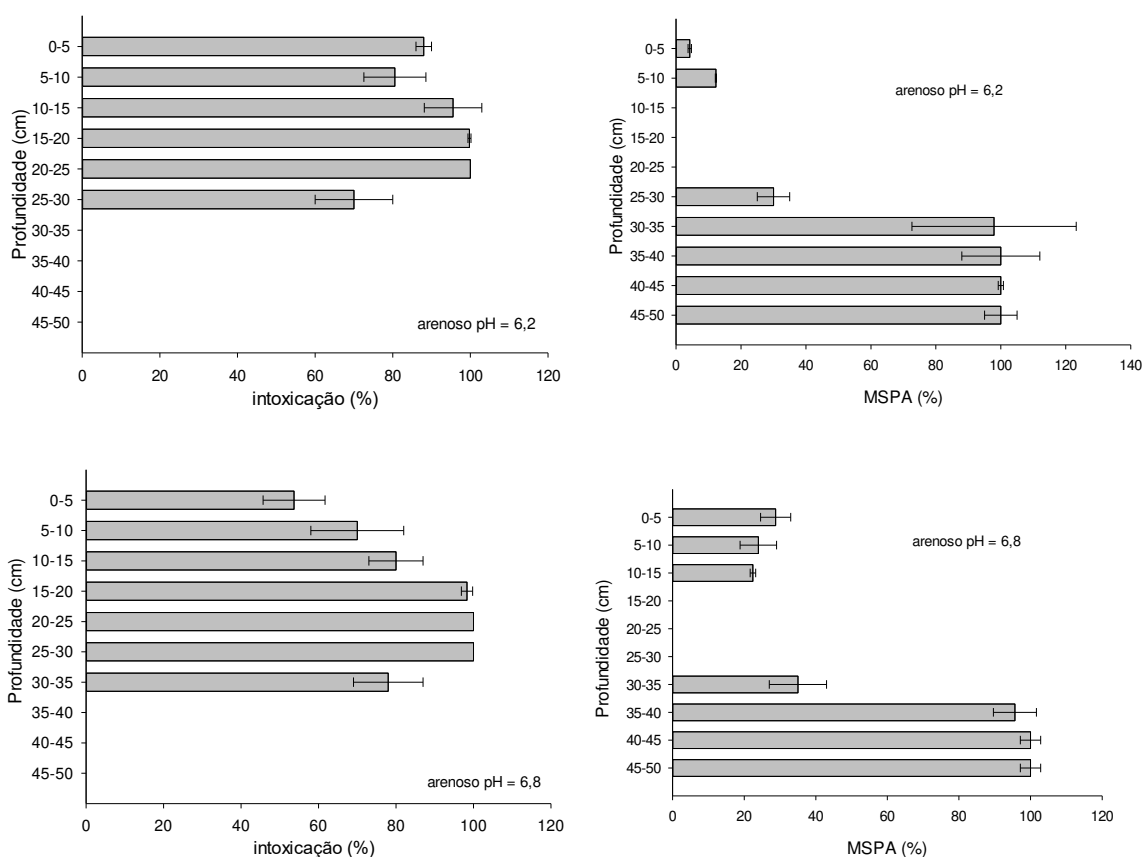


Figura 2. Intoxicação e acúmulo de matéria seca de plantas de beterraba cultivadas em amostras de solos coletadas a diferentes profundidades das colunas preenchidas com Latossolo Vermelho-Amarelo com textura arenosa (pH 6,2 – Solo 3 e pH 6,8 – Solo 4), pulverizadas em seu topo com saflufenacil e submetidas a chuva de 60 mm. Avaliações realizadas aos 21 dias após a emergência das plantas indicadoras.

O LVA com textura argilosa com pH 4,6 (Solo 5), apresentou morte de plantas nas camadas 0-15 cm (Figura 3). Neste solo também foi observado menor crescimento da parte aérea das plantas quando comparado aos outros valores de pH dos solos argilosos. Sendo provável consequência do baixo pH, que afeta a disponibilidade de nutrientes em valores de pH abaixo de 5,0 ou superiores a 7,0 (Malavolta, 1979). Resultados semelhantes foram observados por Langaro (2018), que ao trabalhar com sulfentrazone, herbicida ácido fraco (pKa 6,56) pertencente ao mesmo mecanismo de ação do saflufenacil, em solo com pH 4,7 relatou lixiviação até a profundidade 15 cm.

No LVA com textura argilosa com pH 5,1, foi observada morte de plantas nas profundidades 0-10 cm, e redução da MSPA até a profundidade de 30 cm. Embora tenha ocorrido redução da MSPA na camada de 30 cm, não foi diagnosticado sintomas de intoxicação nas plantas (Figura 3). Monquero et al., (2012), ao

trabalhar com Latossolo Vermelho-Amarelo (pH 5,2) semelhante ao deste estudo, concluiu que a lixiviação do saflufenacil ocorreu até a profundidade de 15 cm. Porém, a lâmina de água aplicada foi menor (40 mm) e o teor de matéria orgânica dos solos estudados era maior do que deste estudo. De acordo com Barcellos Jr. (2018), quanto maior o teor de matéria orgânica menor será a lixiviação do saflufenacil.

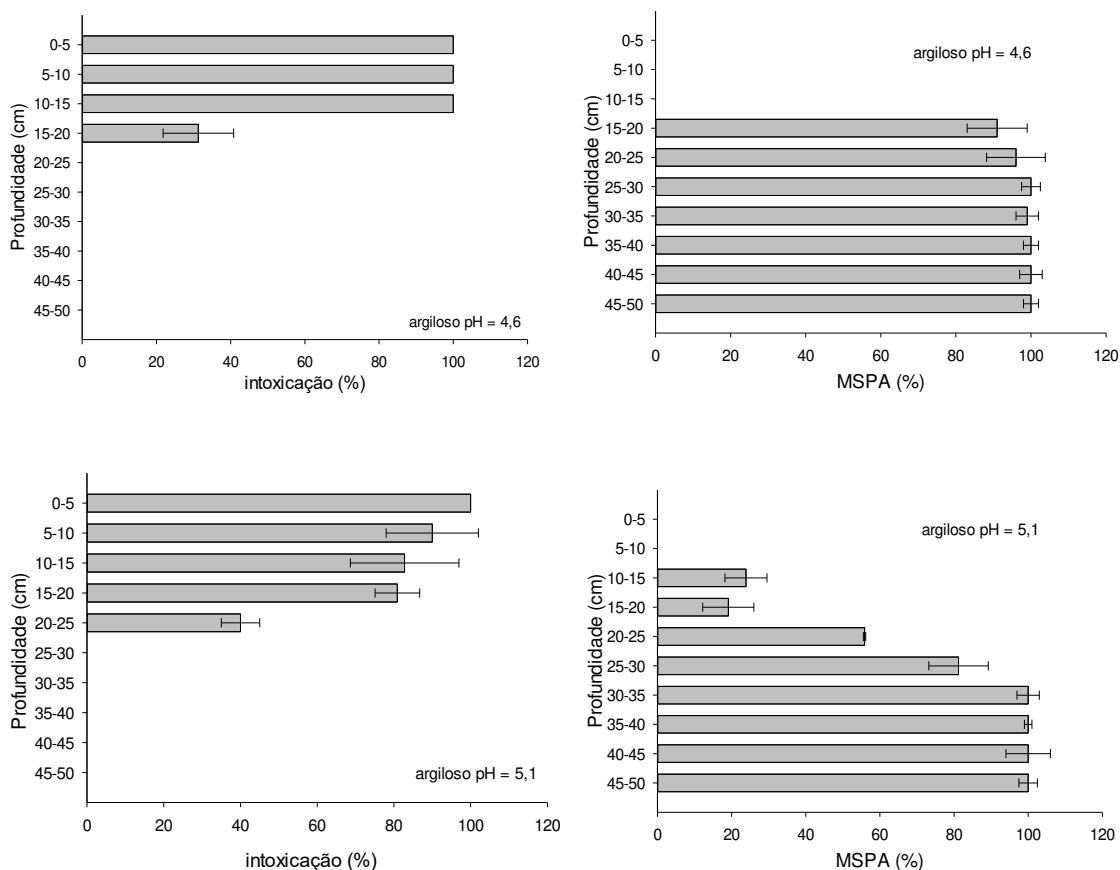


Figura 3. Intoxicação e acúmulo de matéria seca de plantas de beterraba cultivadas em amostras de solos coletadas a diferentes profundidades das colunas preenchidas com Latossolo Vermelho-Amarelo com textura argilosa (pH 4,6 – Solo 5 e pH 5,1 – Solo 6), pulverizadas em seu topo com saflufenacil e submetidas a chuva de 60 mm. Avaliações realizadas aos 21 dias após a emergência das plantas indicadoras.

No LVA com textura argilosa com pH 5,5, ocorreu morte de plantas até a profundidade 15 cm, e redução da MSPA em 90%, 85% e 15% nas profundidades de 20, 25, e 30 cm, respectivamente (Figura 4).

No LVA com textura argilosa com pH 6,1, foi observada morte de plantas até a profundidade 20 cm e redução da MSPA até a profundidade 35 cm, os resultados de intoxicação comprovam os dados de MSPA (Figura 4). Monquero et al. (2012),

encontraram resultados semelhantes ao deste estudo, onde o aumento do pH do solo favoreceu a lixiviação do saflufenacil, acentuando-se ainda mais em solo arenoso.

No solo argiloso ocorreu morte de todas as plantas cultivadas nas amostras de solo coletadas nos primeiros 10 cm de profundidade, independentemente do valor de pH (Figuras 3 e 4). Os LVA com textura argilosa podem ter retido maior quantidade de saflufenacil devido a menor porosidade, e conseqüentemente, a menor mobilidade da água durante a infiltração ocasionou maior tempo de contato das moléculas do herbicida com as cargas da argila e da matéria orgânica. Estas características podem ter favorecido mobilidade menor do saflufenacil no perfil das colunas e a intoxicação da planta indicadora nos primeiros 10 cm de profundidade.

Resultados desta pesquisa corroboram com os de Hixson (2008). Este autor ao trabalhar com saflufenacil em diferentes tipos de solo, relatou que com o aumento do pH houve maior disponibilidade do herbicida na forma aniônica e menor na forma molecular, resultando em maior lixiviação do saflufenacil. O autor relata ainda, que a textura grossa do solo influenciou na lixiviação do saflufenacil devido a maior e mais rápida infiltração da água no solo.

A mobilidade do saflufenacil apresentou comportamento diferente entre as classes de solos deste estudo. Os resultados corroboram com os encontrados por Rossi et al. (2005). Estes autores trabalhando com sulfentrazone, relataram comportamento diferente entre as classes de solo (arenoso e argiloso). Poll & Dutoit (1995), ao trabalharem com oito diferentes tipos de solo, observaram que a lixiviação dos herbicidas imazamethabenz-methyl e chlorsulfuron + metsulfuron-methyl, foi mais acentuada em pH alto chegando a 26 cm, do que em pH baixo chegando a 6 cm.

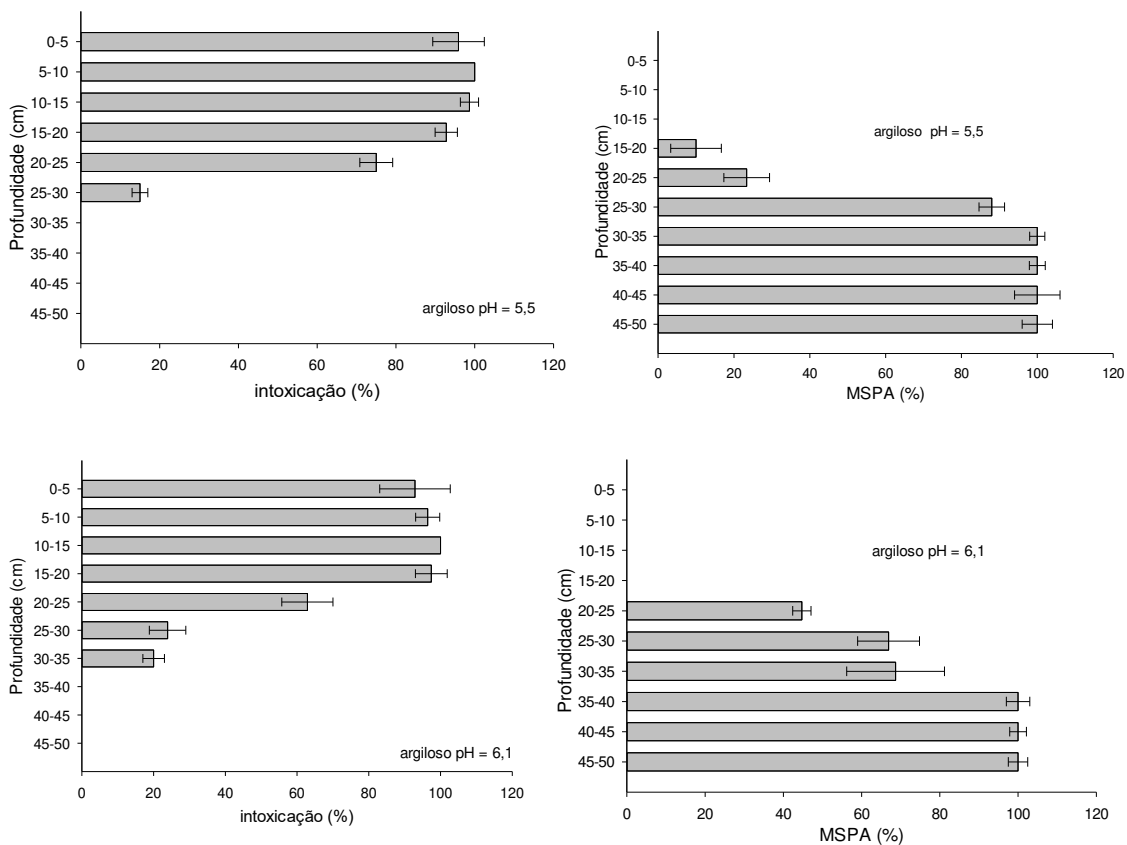


Figura 4. Intoxicação e acúmulo de matéria seca de plantas de beterraba cultivadas em amostras de solos coletadas a diferentes profundidades das colunas preenchidas com Latossolo Vermelho-Amarelo com textura argilosa (pH 5,5 – Solo 7 e pH 6,1 – Solo 8), pulverizadas em seu topo com saflufenacil e submetidas a chuva de 60 mm. Avaliações realizadas aos 21 dias após a emergência das plantas indicadoras.

Aplicações deste herbicida em solos com textura arenosa e argilosa com elevado pH e baixo teor de matéria orgânica, de modo geral, representam risco de contaminação de corpos de água subterrâneas. Pluviosidades acima de 60 mm podem arrastar a moléculas para profundidades ainda maiores, principalmente em solos com textura arenosa e pH igual ou maior que 5,5.

O aumento do pH dos solos, em geral, aumenta a disponibilidade do saflufenacil e conseqüentemente a lixiviação. Em solo arenoso, a ocorrência de precipitações elevadas pode acarretar em menor controle das plantas daninhas devido a lixiviação do herbicida nos primeiros 10 cm.

Concluiu-se que aplicações do saflufenacil nos Latossolos avaliados (arenosos e argilosos) com elevado pH e baixo teor de matéria orgânica lixiviam no perfil do solo. Nestes casos, aplicações de saflufenacil em solos com pH acima de 5,5 representam risco de contaminação a corpos de água subterrâneos.

REFERÊNCIAS:

Andrade, S.R.B. et al. Sorção e dessorção do ametryn em Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes valores de pH. **Planta Daninha**. 2010;184-177.

Armas, E.D. Diagnóstico espaço-temporal da ocorrência de herbicidas nas águas superficiais e sedimentos do Rio Corumbataí e principais afluentes. **Química Nova**. 2007;1127-1119.

Bacigalupo, M.A., Meroni, G. Quantitative determination of diuron in ground and surface water by time-resolved fluoroimmunoassay: seasonal variations of diuron, carbofuran, and paraquat in an agricultural area. **Journal Agricultural and Food Chemistry**. 2007;55:3828-3823.

Barcellos Jr. L.H. **Comportamento do saflufenacil em latossolos com diferentes teores de matéria orgânica**. [dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2018.

BASF Agricultural Products. KIXORTM herbicide: Worldwide Technical Brochure (GL-69288). Agricultural Products Division, Research Triangle Park, NC.2008.

Cámara, J., Gómez-Miguel, V., & Martín, M. Á. Lithologic control on soil texture heterogeneity. **Geoderma**. 2016; 287:163-157.

Castro Neto, M.D. **Sorção, lixiviação e persistência de imidazolinonas em solos utilizados no sistema clearfield de cultivo de arroz**. [Tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2014.

Chen, L. et al. Degradation of atrazine and structurally related s-triazine herbicides in soils by ferrous-activated persulfate: Kinetics, mechanisms and soil-types effects. **Chemical Engineering Journal**. 2018;531-523.

De Jonge, H., De Jonge, L.W., & Jacobsen, O. H. [¹⁴C] Glyphosate transport in undisturbed topsoil columns. **Pest Management Science**. 2000;56:915-909.

De Paula R.T. et al. Leaching and persistence of ametryn and atrazine in red–yellow latosol. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**. 2015;51:95-90.

EPA - Environmental Protection Agency. Disponível em: <https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-118203_01-Aug-09.pdf> 2009. Acesso em: 17 de junho de 2017.

Freitas, M.A.M. et al. Sorção do sulfentrazone em diferentes tipos de solo determinada por bioensaios. **Planta Daninha**. 2014;392-385.

Gonçalves, V.A. **dinâmica do indaziflam em solos do Brasil avaliada pelas técnicas da planta indicadora e cromatografia**. [Tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2018.

Goody, D.C. et. al. Assessing herbicide concentrations in the saturated and unsaturated zone of a Clalk Aquifer in Southern England. **Ground Water**. 2001;271-262.

Grossmann, K. et al. The herbicide saflufenacil (Kixxor) is a new inhibitor of protoporphyrinogen IX oxidase activity. **Weed Science**. 2010;58:9-1.

Huang, Y. et al. Impact of soil primary size fractions on sorption and desorption of atrazine on organo-mineral fractions. **Environmental Science and Pollution Research**. 2015; 22:4405-4396.

Hixson, A.C. **Soil Properties Affect Simazine and Saflufenacil Fate, Behavior, and Performance**. [tese]. Raleigh: North Caroline State University, 2008.

Langaro, A.C. **Sorção e lixiviação do Sulfentrazone em Latossolo Vermelho-Amarelo aplicado de forma isolada e em mistura com formulações de Glyphosate**. [Tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2018.

Malavolta, E. - **ABC da Adubação**. Editora Agronômica CERES Ltda. São Paulo 1979;256.

Martins E.C. et al. Sorption and desorption of atrazine on soils: The effect of different soil fractions. **Geoderma**. 2018;322:139-131.

Monquero, P.A. et al.. Lixiviação de saflufenacil e residual após períodos de seca. **Planta Daninha**. 2012;423-415.

Monquero, P.A. et al. Manejo de *Merremia aegyptia* com misturas de herbicidas utilizando diferentes lâminas de água na presença ou ausência de palha de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**. 2014;96-88.

Oliver, D.P. et al. The role of surface charge and pH changes in tropical soils on sorption behaviour of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). **Science of The Total Environment**. 2019;673:206-197.

Pereira, G.A.M. **Comportamento do clomazone em solos tropicais**. [Tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2016.

Poll, C.F., Du-toit, D. Leaching depth of imazamethabenz methyl and chlorsulfuron + metsulfuron methyl in different soils. **Applications in Plant Science**. 1995;9:47-43p.

Silva, A.A., Vivian, R., Oliveira Jr., R.S. Herbicidas: comportamento no solo. In: Silva, A.A.; Silva, J.F. (Ed.) **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: 2007. 248-189.

Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD). **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina. 1995;42.

Souza, W.M. **Influência dos atributos do solo na sorção e lixiviação do indaziflam em solos tropicais**. [Mestrado]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2018.

Tanabe, A. et al. Seasonal and spatial studies on pesticide residues in surface waters of the Shinano river in Japan. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 2001;3852-3847.

Wang, P., & Keller, A.A. Sorption and desorption of atrazine and diuron onto water dispersible soil primary size fractions. **Water Research**. 2009;43:1456–1448.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos sobre o comportamento do saflufenacil em solos com diferentes características físicas e químicas são de fundamental importância para conhecer as interações do herbicida com o ambiente. Nesta pesquisa foram simuladas condições semelhantes a aquelas encontradas nas áreas de produção agrícola. Este tipo de pesquisa permite que os profissionais possam realizar recomendações mais seguras do ponto de vista técnico e ambiental. Foi avaliado o comportamento do saflufenacil (sorção e lixiviação) em solos com alterações de pH em texturas arenosas e argilosas, pelo método do bioensaio.

De modo geral, com o aumento do pH ocorreu maior mobilidade do saflufenacil no solo, sendo mais acentuado em solos com textura arenosa. Constatou-se que este herbicida ficou pouco sorvido em solos com pH acima de 5 e baixo teor de matéria orgânica. Isto implica em alto risco de contaminação quando utilizado e épocas com alta pluviosidade, visto que a precipitação simulada neste estudo foi de 60 mm.

Entretanto, ao aumentar o valor de pH em ambas as texturas estudadas, observou-se comportamento diferente do esperado. O comportamento esperado era que com o aumento do pH a espécie indicadora ficasse cada vez mais prejudicada pela maior disponibilidade do herbicida na solução do solo. Porém, com o aumento do pH foi possível perceber que a partir de certo ponto a espécie indicadora não sofria maiores danos. O que nos leva a crer que pode ter ocorrido degradação (química ou biológica) da molécula do saflufenacil. Estes fatos apontam a importância e necessidade de continuidade destes estudos, principalmente com valores de pH elevados, visto que, em casos de contaminações do solo, a calagem poderá ser uma ferramenta a ser utilizada.