

VICENTE BEZERRA PONTES JUNIOR

**ESTIMATIVAS, PELO MÉTODO BIOLÓGICO, DA SORÇÃO, LIXIVIAÇÃO E DE
DOSES DO DIURON EM DIFERENTES SOLOS**

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

Orientador: Antonio Alberto da Silva

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

P814e
2022 Pontes Junior, Vicente Bezerra, 1994-
Estimativas, pelo método biológico, da sorção, lixiviação e
de doses do diuron em diferentes solos / Vicente Bezerra Pontes
Junior. – Viçosa, MG, 2022.
1 dissertação eletrônica (71 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Antonio Alberto da Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Agronomia, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.203>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Diuron (Herbicida) - Aspectos ambientais. 2. Solos -
Movimento de herbicidas. 3. Impacto ambiental. 4.
1-(3,4-dichlorophenyl)-3-methylurea. I. Silva, Antonio Alberto
da, 1950-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.
III. Título.

CDD 22. ed. 632.954

Bibliotecário(a) responsável: Euzebio Luiz Pinto CRB 6/3317

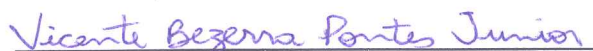
VICENTE BEZERRA PONTES JUNIOR

**ESTIMATIVAS, PELO MÉTODO BIOLÓGICO, DA SORÇÃO, LIXIVIAÇÃO E DE
DOSES DO DIURON EM DIFERENTES SOLOS**

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

APROVADA: 25 de fevereiro de 2022.

Assentimento:



Vicente Bezerra Pontes Junior

Autor


Antonio Alberto da Silva

Orientador

Dedico esta obra à minha família, em especial aos meus pais e minha avó, por serem meus maiores incentivadores. “Por vocês e para vocês”.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir realizar este sonho.

Aos meu pais, Vicente e Roseane, e minha avó Maria José, por todo o infinito amor e esperança em mim depositados. Eu nada seria sem vocês.

Aos demais integrantes da minha família, em especial às minhas irmãs Regiane e Milenny, e minhas sobrinhas Bianca, Katharina, Maria Cecília e Maria Luísa, pelo amor, carinho e por serem refúgios de paz e tranquilidade.

À Cleidiane Rodrigues, por ter embarcado comigo nesta jornada, ter sido um poço de amor e bondade e estar sempre comigo, mesmo quando não estive. Eu sempre vou te amar.

À minha segunda família: Dona Cleide, Jorge, Frank, Bia, Rafa, Nilciclea, Francisco, Nilcéia, Junior, Cleiciane, pelo apoio e carinho em todos esses anos.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade concedida, apoio e suporte que me foi dado nestes dois anos.

Ao meu professor e orientador Antonio Alberto da Silva, pelo apoio, ensinamentos, paciência, compreensão, amizade e orientação neste trabalho. Que eu possa ser uma extensão viva de seu brilhante trabalho.

Ao meu coorientador Leonardo d'Antonino, por todos os ensinamentos, conversas, amizade, compreensão e paciência ao longo destes anos. Seu apoio foi fundamental para o bom andamento desta pesquisa.

Aos amigos do grupo MIPD – UFV, por todo o companheirismo, ajuda e convivência. Em especial aos amigos Adalin e Elisa, pelos conselhos e ensinamentos.

Aos meus amigos Alessandro e Maura, que são meus conterrâneos, contemporâneos e também integrantes do MIPD – UFV, por tornarem esta jornada mais divertida.

Ao meu amigo Levi, o melhor colombiano que existe, por toda a amizade, convivência e companheirismo em Viçosa.

Aos meus irmãos de outra mãe Petson, Zé e Alef, por todo o incentivo e conselhos nesses mais de 10 anos de amizade.

Aos meus irmãos do Máquina Ambiental, em especial a Igor Coutinho (*in memoriam*). Que Deus o tenha em bom lugar.

Aos amigos do IFPA, por serem motivos de risadas e alegria no dia-a-dia.

Aos companheiros de treinos da Paiva Team. O jiu-jitsu é mais que um esporte, é uma terapia.

Ao meu colega de apartamento Pablo Dias, por ter sido o melhor que eu imaginava ter em Viçosa.

A todos os professores que contribuíram com seu conhecimento para minha formação pessoal e acadêmica, em especial a Rafael Gomes Viana, por me apresentar o universo da ciência das plantas daninhas.

Às agências de fomento à pesquisa, CAPES, CNPQ E FAPEMIG.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Por fim, a todos que não foram citados e me ajudaram diretamente e indiretamente para realização deste sonho. Muito Obrigado.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes”.

(Isaac Newton)

RESUMO

PONTES JUNIOR, Vicente Bezerra, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2022. **Estimativas, pelo método biológico, da sorção, lixiviação e de doses do diuron em diferentes solos.** Orientador: Antonio Alberto da Silva.

O diuron é um herbicida registrado no Brasil para o controle de várias espécies de plantas daninhas em diversas culturas de importância econômica, como algodão, cana-de-açúcar, banana, cacau, café, citros, eucalipto, dentre outras. Apresenta longa persistência no solo e é recomendado para uso em pré-emergência das plantas daninhas. A seletividade do diuron para a maioria das culturas, especialmente o algodão, é devido ao posicionamento de sua molécula no perfil do solo. Em razão disso, é condição necessária para se fazer recomendações seguras desse herbicida, do ponto de vista agrônomo e ambiental, que se conheçam as interações de sua molécula com a matriz dos solos para se definir as doses recomendadas. Na literatura existem relatos de estudos de sorção e lixiviação do diuron em diferentes solos. Entretanto, não é comum que se faça correlação entre os dados obtidos e doses recomendadas, quanto a eficiência no controle das plantas daninhas, seletividade da cultura e risco ambiental. Nesta pesquisa objetivou-se estimar, pelo método biológico, a sorção, lixiviação e doses do diuron a serem recomendadas para o controle de plantas daninhas em diferentes solos. Experimentos foram realizados para avaliar o comportamento do diuron nos solos (sorção e lixiviação) e para definir as doses de diuron para cada solo que promoveriam um controle de 80% das plantas daninhas. Foram feitas análises de correlação entre atributos físico-químicos do solo e a razão de sorção do diuron com as doses que controlaram com eficiência as espécies de plantas daninhas. A espécie indicadora nos experimentos de sorção e lixiviação foi *Cucumis sativus*. *Amaranthus hybridus* e *Eleusine indica* foram utilizadas no experimento de eficiência de controle. A sorção do diuron foi maior nos solos com maiores teores de matéria orgânica. O diuron não apresentou potencial de lixiviação em nenhuma das amostras de solo e as doses necessárias para obtenção de controle eficiente das espécies de plantas daninhas foram menores que as recomendadas em bula. As doses correlacionaram-se positivamente com o teor da matéria orgânica, CTC e os parâmetros de sorção. Contudo, a análise de correlação evidenciou que apenas as correlações entre atributos do solo e parâmetros da sorção não permitem determinar com eficiência as doses de diuron a serem recomendadas. Conhecer as características do solo é condição determinante antes de se fazer a recomendação de doses do

diuron, para se obter controle satisfatório de plantas daninhas com baixo risco de contaminação ambiental (contaminação do perfil do solo e de águas subterrâneas e superficiais).

Palavras-chave: 1-(3,4-dichlorophenyl)-3-methylurea. Eficiência de controle. Herbicida. Impacto ambiental.

ABSTRACT

PONTES JUNIOR, Vicente Bezerra, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2022.
Estimates, by biological method, of sorption, leaching and diuron doses in different soils.
Advisor: Antonio Alberto da Silva.

Diuron is a herbicide registered in Brazil for the control of several weed species in various crops of economic importance, such as cotton, sugarcane, banana, cocoa, coffee, citrus, eucalyptus, among others. It has long persistence in the soil and is recommended for use in pre-emergence of weeds. The selectivity of diuron for most crops, especially cotton, is due to the positioning of its molecule in the soil profile. As a result, it is a necessary condition to make safe recommendations of this herbicide, from the agronomic and environmental point of view, to know the interactions of its molecule with the soil matrix to define as recommended doses. In the literature there are reports of studies of diuron sorption and leaching in different soils. However, it is not common to make correlation between the data obtained and recommended doses, regarding the efficiency in weed control, crop selectivity and environmental risk. This research aimed to estimate, by biological method, the sorption, leaching and doses of the diuron to be recommended for weed control in different soils. Experiments were carried out to evaluate the diuron behavior in soils (sorption and leaching) and to define diuron doses for each soil that promote a control of 80% of weeds. Correlation analyses were performed between soil physicochemical attributes and diuron sorption ratio with doses that efficiently control weed species. The indicator species in the sorption and leaching experiments was *Cucumis sativus*. *Amaranthus hybridus* and *Eleusine indica* were used in the control efficiency experiment. Diuron sorption was higher in soils with higher organic matter contents. The diuron did not present leaching potential in any of the soil samples and the doses necessary to obtain efficient control of weed species were lower than those recommended in bulla. As doses were positively correlated with the organic matter content, CTC and sorption parameters. However, correlation analysis showed that only the correlations between soil attributes and sorption parameters do not allow efficiently determining how diuron doses to be recommended. Knowing the characteristics of the soil is a determining condition before recommending diuron doses to obtain satisfactory control of weeds with low risk of environmental contamination (contamination of soil profile and groundwater and surface water).

Keywords: 1-(3,4-dichlorophenyl)-3-methylurea. Control efficiency. Herbicide. Environmental impact.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	12
INTRODUÇÃO GERAL	12
LITERATURA CITADA	15
ESTIMATIVA DA SORÇÃO DO DIURON EM SOLOS COM DIFERENTES TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA	17
Resumo.....	17
ESTIMATION OF DIURON SORPTION IN SOILS WITH DIFFERENT ORGANIC MATTER CONTENTS	18
Abstract	18
INTRODUÇÃO	19
MATERIAL E MÉTODOS	22
RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
CONCLUSÕES	31
LITERATURA CITADA	32
ESTIMATIVA DA LIXIVIAÇÃO DO DIURON EM SOLOS COM DIFERENTES TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA	34
Resumo.....	34
ESTIMATION OF DIURON LEACHING IN SOILS WITH DIFFERENT ORGANIC MATTER CONTENTS	35
Abstract	35
INTRODUÇÃO	36
MATERIAL E MÉTODOS	38
RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
CONCLUSÕES	44
LITERATURA CITADA	45
EFICIÊNCIA DO DIURON NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS E CORRELAÇÃO ENTRE ATRIBUTOS DO SOLO, SORÇÃO E DOSES DO DIURON A SEREM RECOMENDADAS PARA DIFERENTES SOLOS	47
Resumo.....	47
DIURON EFFICIENCY IN WEED CONTROL AND CORRELATION BETWEEN SOIL ATTRIBUTES, SORPTION AND DIURON DOSES TO BE RECOMMENDED FOR DIFFERENT SOILS	48
Abstract	48
INTRODUÇÃO	49
MATERIAL E MÉTODOS	53
RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
CONCLUSÕES	66
LITERATURA CITADA	67
CONSIDERAÇÕES FINAIS	71

INTRODUÇÃO GERAL

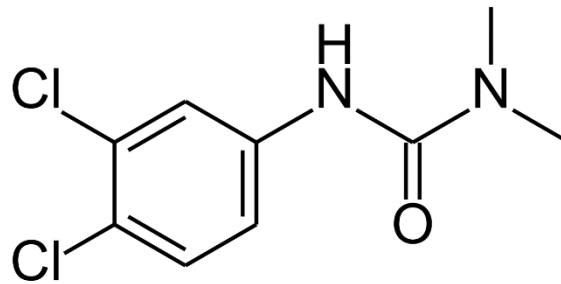
O método químico de controle de plantas daninhas é mais eficiente e de menor custo em comparação as outras técnicas de controle (TAKESHITA et al., 2020). No entanto, grande parte das moléculas dos herbicidas, independente se aplicadas em pré ou em pós-emergência, têm como destino final o solo. No solo, as moléculas dos herbicidas ficam expostas a processos físico-químicos e biológicos que irão influenciar a eficiência do herbicida e o seu comportamento no ambiente (MANCUSO et al., 2011). Tais processos serão responsáveis pela biodisponibilidade, mobilidade, degradação, além de uma possível contaminação por essas moléculas a outros componentes ambientais (CHITOLINA et al., 2020).

A dinâmica de moléculas de herbicidas no solo é regida por processos de retenção (sorção e dessorção), lixiviação, volatilização, fotodegradação, degradação (química e microbiológica), escoamento superficial e absorção pelas plantas (BAILEY e WHITE, 1970). Pode-se dizer que o processo de retenção do herbicida pelos coloides do solo é o de maior importância quando se avalia a dinâmica de herbicidas no seu perfil. Este é dependente das características físico-químicas do solo e do herbicida. Estudos realizados apontam que a sorção de herbicidas no solo constitui um dos principais fatores que influenciam na sua movimentação neste substrato (SILVA et al., 2010; OLIVEIRA e BRIGHENTI, 2011). Em razão disso, podem ser estudados o risco de contaminação de corpos de água superficiais e subterrâneos além da estimativa de lixiviação do herbicida, que é inversamente proporcional ao grau de sorção.

O diuron [1-(3,4-dichlorophenyl)-3-methylurea] é um herbicida não-iônico do grupo químico das ureias substituídas (Figura 1). É recomendado para as culturas da cana-de-açúcar, algodão, café, milho, soja, eucalipto, dentre outras, de interesse econômico ao Brasil (ANVISA, 2020; MAPA, 2021). Atua na inibição de elétrons no Fotossistema II (PS II), competindo com a quinona B pelo sítio de ligação à proteína D1, impedindo a redução da quinona A. Logo, ocorre a paralisação do fluxo de elétrons, consequentemente impedindo a redução do NADPH, componente essencial para o processo de fixação de CO₂ no processo de fotossíntese. Por fim, ocorre a redução de geração de energia impossibilitando o processo completo de fotossíntese. Com a paralisação do fluxo de elétrons, a clorofila permanece carregada energeticamente e altamente reativa (clorofila “*triplet*”). Em condições normais, a energia seria dissipada pelos carotenoides, porém, na presença do herbicida, o excesso de clorofila carregada sobrepõe essa capacidade (FUERST e NORMAN, 1991; SILVA et al., 2007a). Ocorre também a reação entre a clorofila *triplet* e oxigênio, produzindo um oxigênio reativo denominado oxigênio “*singlete*”. Ambas as espécies reativas causam peroxidação dos lipídeos e das membranas. Provoca os

mesmos sintomas que outros herbicidas inibidores do FSII, entre os quais, além do grupo da Uréia, incluem-se as Triazinas e as Uracilas. Os sintomas ocorrem no decorrer dos dias, promovendo a clorose das folhas devido as reações de foto-oxidação do cloroplasto, seguido de necrose dos tecidos decorrentes da destruição das membranas (HESS, 2000; BREITENBACH et al., 2001; CATUNDA et al., 2005; SILVA et al., 2007a; MARCHI et al., 2008).

Figura 1 - Fórmula estrutural da molécula do diuron.



Fonte: PPDB (2021).

De acordo com Hager e Nordby (2004), herbicidas contidos no grupo químico das ureias substituídas possuem alta persistência no solo. A matéria orgânica e a textura do solo são os atributos que influenciam na sorção, dessorção e lixiviação do diuron em diferentes tipos de solos do Brasil, onde é muito utilizado (ROCHA et al., 2013; CHITOLINA et al., 2018; CHAGAS et al., 2019).

A avaliação da capacidade de sorção dos herbicidas pelos coloides dos solos pode ser realizada por métodos químicos (cromatografia líquida ou gasosa ou moléculas rádio marcadas) ou biológicos, sendo os biológicos de menor custo (SILVA et al., 2007b; MONQUERO et al., 2012; BARCELLOS JÚNIOR et al., 2019). Diversos trabalhos confirmam a sua eficiência, gerando resultados satisfatórios na estimativa da capacidade de sorção de herbicidas pelas matrizes do solo. Além disso, é um método de simples condução dos experimentos (SILVA et al., 2007b; FREITAS et al., 2014; PEREIRA et al., 2017).

Na recomendação de doses de um herbicida a ser aplicada em pré-emergência, devem ser consideradas características químicas e físicas do solo e do herbicida (SILVA et al., 2007b). O técnico deve conhecer as relações entre os atributos do solo e as características do herbicida para que seja possível recomendar uma dose que seja eficiente do ponto de vista agrônomo, com baixo risco ambiental. Considerando a grande diversidade de solos do Brasil, o desenvolvimento de uma metodologia de baixo custo, que permita definir doses de um herbicida em diferentes solos é fundamental. Este conhecimento pode evitar aplicação de doses aquém ou além do necessário (PAULO et al., 1991), que resultaria em prejuízos econômicos e

ambientais. A hipótese deste trabalho baseia-se que o conhecimento das características do solo, do valor da razão de sorção em solo e do potencial de lixiviação estimada pelo método biológico, permite definir a dose do herbicida diuron que garanta ótima eficiência de controle das plantas daninhas, seletividade à cultura e baixo risco ambiental.

LITERATURA CITADA

ANVISA. **Agência nacional de vigilância sanitária**. Índice monográfico – diuron. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/agrotoxicos/monografias/monografias-autorizadas/d/4283json-file-1>. Acesso em: 06/02/2020.

BARCELLOS JÚNIOR, L. H.; AGAZZI, L. R.; PEREIRA, G. A. M.; DA SILVA, E. M. G.; PIRATOBA, A. R. A.; DE SOUZA, P. S. R.; DA SILVA, A. A. Espécies indicadoras de resíduos de saflufenacil em solos. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 18, n. 2, 2019.

BAILEY, G. W.; WHITE, J. L. Factors influencing the adsorption, desorption, and movement of pesticides in soil. In: GUNTHER, F. A.; GUNTHER, F. D (Eds.). **Single Pesticide Volume: The Triazine Herbicides**. New York: Springer, v. 32, 2012. p. 29-92.

BREITENBACH, J.; ZHU, C.; SANDMAN, G. Bleaching herbicide norflurazon inhibits phytoene desaturase by competition with the cofactors. **Journal of Agricultural of Food Chemistry**, v. 49, n. 11, p. 5270-5272, 2001.

CATUNDA, M. G.; FREITAS, S. P.; OLIVEIRA, J. G.; SILVA, C. M. M. Efeitos de herbicidas na atividade fotossintética e no crescimento de abacaxi (*Ananas comossus*). **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 115-121, 2005.

CHITOLINA, G. M.; MENDES, K. F.; ALMEIDA, C. S.; ALONSO, F. G.; JUNQUEIRA, L. V.; TORNISIELO, V. L. Influence of soil depth on sorption and desorption processes of hexazinone. **Planta daninha**, v. 38, e020217734, 2020.

FREITAS, M. A. M.; PASSOS, A. B. R. J.; TORRES, L. G.; MORAES, H. M. F.; FAUSTINO, L. A.; ROCHA, P. R. R.; SILVA, A. A. Sorção do sulfentrazone em diferentes tipos de solo determinada por bioensaios. **Planta Daninha**, v. 32, n. 2, p. 385-392, 2014.

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

HAGER, A.; NORDBY, D. Herbicide persistence and how to test for residues in soils. In: BISSONNETTE, S. **Illinois agricultural pest management handbook**. University of Illinois extension, 2004. p. 323-326.

HESS, F. D. Light-dependent herbicides: an overview. **Weed Science**, p. 160-170, 2000.

KOSKINEN, W. C.; HARPER, S. S. The retention process: mechanisms. In: CHENG, H. H (Ed.). **Pesticides in the soil environment: processes, impacts and modeling**, v. 2, 1990. p. 51-77.

MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo (“carryover”). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 151-164, 2011.

MAPA. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. **Agrofit – Sistemas de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em:

<http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em 05 de agosto de 2021.

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; GUIMARÃES, T. G. **Herbicidas: mecanismos de ação e uso**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 36 p.

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

OLIVEIRA, B.; 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: Omnipax, p. 263 – 304. 2011.

PAULO, E. M.; JORGE, J. A.; ARRUDA, F. B.; PATRÍCIO, F. R. A. Efeitos de algumas características do solo na resposta da planta a doses de herbicidas. **Planta Daninha**, v. 9, n. 1-2, p. 76-84, 1991.

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:e017163378, 2017.

PIGNATI, W. A.; LIMA, F. A. N. S.; LARA, S. S. D.; CORREA, M. L. M.; BARBOSA, J. R.; LEÃO, L. H. C.; PIGNATTI, M. G. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 22, p. 3281-3293, 2017.

ROCHA, P. R. R.; FARIA, A. T.; BORGES, L. G. F. C.; SILVA, L. O. C.; SILVA, A. A.; FERREIRA, E. A. Sorção e desorção do Diuron em quatro latossolos brasileiros. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 231-238, 2013.

SILVA, A. A., FERREIRA, F. A., FERREIRA, L. R. Herbicidas: Classificação e mecanismos de ação. In: SILVA A. A., SILVA J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, p. 58–117, 2007^a.

SILVA, A. A., VIVIAN, R.; OLIVEIRA JUNIOR, R. B. Herbicidas: Comportamento no Solo. In: SILVA A. A., SILVA J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, p. 155–209, 2007^b.

SILVA, F. A.; LOURENCETTI, C.; DORES, E. F. G. C. Influência da temperatura, umidade e profundidade do solo na persistência do diuron e sulfato de endossulfam em um solo tropical. **Química Nova**, v. 33, n. 7, p. 1457-1463, 2010.

TAKESHITA, V.; MENDES, K. F.; PIMPINATO, R. F.; TORNISIELO, V. L. Adsorption isotherms of diuron and hexazinone in drinking water using four agro-industrial residues. **Planta Daninha**, v. 38, 2020.

ESTIMATIVA DA SORÇÃO DO DIURON EM SOLOS COM DIFERENTES TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA

Resumo – A sorção de um herbicida ao solo é uma característica importante para definir as doses a serem recomendadas para aplicação em pré-emergência. Para o herbicida diuron, este conhecimento é ainda mais importante, devido à sua longa persistência no solo. Herbicidas que tem esta característica, quando utilizados em doses inadequadas, podem intoxicar culturas, contaminar o perfil do solo e águas subterrâneas. O objetivo deste trabalho foi estimar a sorção do diuron em dois solos com diferentes teores de matéria orgânica. Para isto, amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e um Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) foram coletadas no município de Viçosa – MG. Nestas amostras foram adicionadas três doses de esterco, na proporção solo:esterco (v/v): 1:0, 0,75:0,25, 0,60:0,40. Houve também um substrato inerte, composto por areia lavada, totalizando sete tratamentos (Areia lavada, LVA1, LVA2, LVA3, PVA1, PVA2, PVA3). O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal de Viçosa, em delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições. Para estimar a sorção, foi realizada curva de dose-resposta, com uso do pepino (*Cucumis sativus*) como espécie bioindicadora. As variáveis avaliadas foram notas de intoxicação de plantas aos 7 e 14 dias após a emergência e acúmulo de matéria seca da parte aérea. Com os dados das variáveis foi possível estimar a dose necessária de diuron para causar 50% de intoxicação e 50% de redução de matéria seca das plantas de pepino (C_{50}). Com os valores de C_{50} , foi calculada a razão de sorção, parâmetro utilizado para estimar a sorção do diuron nos solos. A sorção do diuron foi maior nos materiais de solo com maiores teores de matéria orgânica. Isto evidencia a importância do conhecimento desse atributo do solo quando se pretende definir doses do diuron a serem aplicadas em pré-emergência, visando eficiência agrônômica e segurança ambiental.

Palavras-chave: eficiência agrônômica; herbicida; impacto ambiental; retenção pelos colóides do solo.

ESTIMATION OF DIURON SORPTION IN SOILS WITH DIFFERENT ORGANIC MATTER CONTENTS

Abstract – Knowledge of the sorption of a herbicide by the soil is a necessary condition to define different doses when recommended in pre-emergence. In the specific case of diuron, this knowledge is even more important, due to its long persistence in the soil. Herbicides that have this characteristic, when used in inadequate doses, can intoxicate crops, contaminate soil profile and groundwater. This research aimed to estimate diuron sorption in two soils with different organic matter contents. For this, samples of a Red-Yellow Latosol (LVA) and a Red-Yellow Argisol (PVA) were collected in the municipality of Viçosa - MG. In this samples were added three doses of manure, in the ratio of soil:manure (v/v): 1:0, 0.75:0.25, 0.60:0.40. There was also an inert substrate, composed of washed sand, totaling seven treatments (Washed sand, LVA1, LVA2, LVA3, PVA1, PVA2, PVA3). The experiment was carried out in a greenhouse of the Federal University of Viçosa, in a completely randomized design, with 4 replications. To estimate the sorption, a dose-response curve was performed, using cucumber as a bioindicator species. As the variables evaluated were notes of plant intoxication at 7 and 14 days after emergence and accumulation of dry matter from the shoot. With the data of the variables, it was possible to estimate the necessary dose of diuron to cause 50% of intoxication and 50% of dry matter reduction of cucumber plants (C_{50}). With the values of C_{50} , the sorption ratio was calculated, a parameter used to estimate the diuron sorption in the soils. It was concluded that the biological method was efficient in estimating diuron sorption; Diuron sorption was higher in soil materials with higher organic matter contents. This evidences the importance of knowing this soil attribute when it is intended to define doses of the diuron to be applied in pre-emergence, aiming at agronomic efficiency and environmental safety.

Keywords: agronomic efficiency; environmental impact; herbicide; retention by soil colloides.

INTRODUÇÃO

A sorção é um processo geral, que engloba os processos específicos de adsorção, absorção e precipitação. Ocorre quando uma substância se liga a uma superfície sólida (orgânica e mineral) ou líquida. Dependendo do sentido da força da interação, a molécula pode ser adsorvida ou sofrer repulsão, concentrando-se na solução do solo (SILVA et al., 2007a; OLIVEIRA e BRIGHENTI, 2011). O diuron apresenta algumas características físico-químicas que estão descritas na Tabela 1. De acordo com estes dados, pode ser classificado como pouco solúvel, pouco volátil, persistente no ambiente e ligeiramente móvel no solo.

Tabela 1 - Nomenclatura e propriedades físico-químicas do diuron.

Propriedades	Valores
Nome químico (IUPAC)	3-(3,4-diclorofenil)-1,1-dimetilureia
Nome comum	Diuron
Fórmula molecular	C ₉ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O
Massa molecular	233,09
Classe	Herbicida
Grupo químico	Ureia substituída
Ponto de fusão	157,2 °C
Pressão de vapor	1,15 x 10 ⁻³ mPa
Constante de Lei de Henry à 25 °C	2 x 10 ⁻⁶ Pa m ³ mol ⁻¹
Solubilidade em água (S _w)	35,6 mg L ⁻¹
Coefficiente octanol-água (K _{ow})	7,41 x 10 ² (pH 7, 20 °C)
Coefficiente de sorção (K _{oc})	680
Tempo de meia vida (Dt50)	229 dias (solo)

Fonte: Adaptado de PPDB (2021).

Os mecanismos de sorção de herbicidas no solo são muito complexos e difíceis de especificar, por conta da diversidade de solos presentes no Brasil e da grande variedade de moléculas orgânicas e estruturas químicas (ROCHA, 2011). O diuron é um herbicida não-iônico, logo, permanece na forma molecular quando está na solução do solo, além de apresentar altos coeficientes de sorção, baixa solubilidade e moderado K_{ow}, como observado na Tabela 1. Com estas características, este herbicida possui maior potencial de ser sorvido pelos colóides orgânicos do solo. Por conta disto, o principal mecanismo de sorção do diuron são as ligações hidrofóbicas, um tipo de interação independente, considerado um fenômeno entrópico entre duas substâncias com comportamento ou componentes hidrofóbicos em comum

(ISRAELACHVILI, 2011). No entanto, outras forças, como as de Van der Waals e pontes de hidrogênio, podem ocorrer, uma vez que herbicidas não-iônicos podem ser polares, sendo afetados pelo pH e sorvidos nos complexos argilominerais do solo (SILVA et al., 2007a).

Diversos trabalhos encontrados na literatura demonstram o comportamento do diuron em condições e solos diversos (INOUE et al., 2008; ROCHA et al., 2013; CAVALCANTE et al., 2018). Há também trabalhos com solos pouco comuns na agricultura ou modificados, enriquecidos com matéria orgânica. Avaliando a sorção do diuron em solos antropogênicos (terra preta de índio – TPI), Almeida et al. (2018) verificaram alta sorção do diuron nestes solos em comparação com Neossolo Quartzarênico órtico (NQo). Os solos antropogênicos apresentaram taxas de carbono orgânico 10 vezes maiores que o NQo, proporcionando alta sorção. Além do mais, os autores verificaram que nas TPI, a taxa de desorção foi muito baixa e a taxa de degradação foi mais alta, indicando que o uso de diuron nestes solos pode proporcionar controle ineficiente de plantas daninhas. Cheng et al. (2014) verificaram que a sorção do diuron foi maior em solo enriquecido com “wood char” (carvão) quando comparados aos solos convencionais. Tal fato pode ser atribuído ao aumento da quantidade de grupos funcionais que aumentam a superfície específica de contato da matéria orgânica.

Para avaliar a sorção de um herbicida, normalmente são utilizados coeficientes que relacionam a concentração do herbicida sorvido ao solo com sua concentração na solução do solo em equilíbrio. Tal coeficiente é conhecido como coeficiente de sorção (representado por K_{oc} , quando corrigido para o teor de carbono orgânico presente no solo) (SILVA et al., 2007a). Este coeficiente é calculado a partir de métodos analíticos, como cromatografia líquida/gasosa e uso de herbicidas radiomarcados, por exemplo. Entretanto, essas técnicas demandam altos recursos e equipamentos. Como alternativa, o uso de métodos biológicos por meio de bioensaios torna-se um meio eficiente e de baixo custo.

Para estimar a sorção de herbicidas no solo por meio de métodos biológicos, são realizados ensaios para obtenção de curvas de dose-resposta do herbicida com uma planta indicadora. Esses ensaios são realizados com plantas sensíveis às moléculas testadas, onde são avaliadas as modificações morfológicas causadas pelos resíduos de herbicidas no solo, utilizando-se um substrato inerte (geralmente areia lavada) e diferentes substratos (VAN WYK e REINHARDT, 2001; SILVA et al., 2007a). Como resposta a estes ensaios, obtêm-se a C_{50} , que é a dose necessária para causar 50% de resposta do herbicida na planta indicadora. Essa resposta pode ser a intoxicação das plantas (fitotoxicidade), altura da planta, comprimento de raiz, matéria seca de parte aérea e raízes (SILVA et al., 2007a). A partir da C_{50} , calcula-se a razão de sorção (RS) do solo em relação à resposta da planta bioindicadora no substrato inerte

(SOUZA, 1994). Quanto maiores os valores de RS, maior a capacidade do solo em sorver o herbicida (SILVA et al., 2013).

A técnica de bioensaios permite a obtenção de resultados confiáveis do ponto de vista agrônômico. Gonçalves et al. (2021), avaliando a sorção do herbicida indaziflam em dois tipos de solo, verificaram que tanto o uso de bioensaios como cromatografia líquida de alta eficiência demonstraram que o aumento do pH reduziu a sorção do indaziflam. Os autores utilizaram bioensaios para calcular a C_{50} e posteriormente a RS, utilizando como parâmetros o índice de intoxicação e o acúmulo de matéria seca total.

Avaliando o comportamento do herbicida saflufenacil em dois tipos de solos, com e sem adição de diferentes teores de esterco, Barcellos Júnior (2018) verificou, por meio de bioensaios, que quanto maiores os teores de matéria orgânica nos solos, maior foi a sorção do herbicida. O autor verificou, por meio de cromatografia líquida de alta eficiência, que não foi possível obter as isotermas de sorção e dessorção pela metodologia utilizada. Desta forma, a técnica de bioensaio foi a única que proporcionou resultados quanto ao comportamento do saflufenacil nos solos estudados.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi estimar a sorção do diuron em dois tipos de solos com diferentes teores de matéria orgânica.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dois tipos de solos agrícolas muito utilizados no Brasil, o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e o Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), sem histórico do uso de herbicidas. Estes solos foram coletados na camada de 0-20 cm de profundidade em duas localidades do município de Viçosa – MG, Brasil. Sendo o LVA com textura muito argilosa e o PVA com textura argilo-arenosa. Após a coleta, os solos foram peneirados e acondicionados em caixas com volume de 150 L. Para diferenciar os teores de matéria orgânica, os solos foram incubados com esterco bovino, curtido e peneirado, por um período de 30 dias, com as seguintes proporções solo:esterco (v:v): 1:0, 0,75:0,25 e 0,6:0,4. Essas proporções foram feitas para os dois solos iniciais, totalizando seis tipos de solos. Todas as amostras foram irrigadas durante o período de incubação, para facilitar a homogeneização do solo com o esterco. Após este período, foram secas ao ar, peneiradas em peneira com malha de 5 mm e em seguida enviadas ao laboratório, onde foram caracterizadas química e fisicamente. A Tabela 2 apresenta os solos e seus atributos físico-químicos.

Tabela 2 - Atributos físico-químicos dos materiais de solo utilizados no experimento.

Solos	Tratamento	Solo:Esterco	MO	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	T	V	A. grossa	A. fina	Silte	Argila
		(v:v)	dag Kg ⁻¹	H ₂ O	----mg dm ⁻³ ----	-----cmol _c dm ⁻³ -----	%	-----Kg Kg ⁻¹ -----							
LVA	LVA1	1:0	0,66	4,88	1,0	4	0,27	0,06	2,3	2,64	12,9	0,109	0,148	0,032	0,710
	LVA2	0,75:0,25	4,08	6,43	47,5	783	4,15	2,15	1,1	9,41	88,3	0,178	0,153	0,025	0,643
	LVA3	0,6:0,4	5,27	6,84	87,6	1.228	5,70	3,08	0,5	12,43	96,0	0,186	0,136	0,127	0,551
PVA	PVA1	1:0	1,71	5,51	1,7	103	1,95	0,59	2,9	5,70	49,1	0,280	0,171	0,164	0,485
	PVA2	0,75:0,25	4,08	6,41	62,4	930	4,74	2,46	1,8	11,38	84,2	0,276	0,182	0,077	0,464
	PVA3	0,6:0,4	5,53	6,75	113,7	1.308	6,02	3,30	1,1	13,77	92,0	0,278	0,154	0,077	0,490

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.

O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal de Viçosa. Para estimar a sorção do diuron nos solos, utilizou-se a areia lavada como substrato inerte. Neste procedimento, a areia foi peneirada em peneira de malha de 4 mm. Em seguida, foi lavada em água corrente até retirar o excesso de impurezas e permaneceu incubada com ácido clorídrico PA, diluído em água, numa concentração de 600 mL de ácido para cada 10 L de água, por 36 horas. Foi mantida uma lâmina de 10 cm de água acima do nível da areia, para eliminação do material orgânico presente. Após esse período, novamente a areia foi lavada em água corrente para retirar o excesso de ácido, elevando-se o pH próximo a 7,0 em água deionizada.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 7 x 10, correspondendo a sete substratos (areia lavada e os materiais de solos) e dez doses do herbicida, com quatro repetições. As doses do tratamento foram definidas em ensaio preliminar para cada um dos substratos em estudo. Neste ensaio preliminar, o diuron apresentou comportamento diferente nos substratos, os quais necessitaram de diferentes doses no ensaio final. As doses foram fracionadas com a finalidade de obter diferentes pontos para ajustar o modelo matemático, permitindo a construção de uma curva de dose-resposta (Tabela 3).

Tabela 3 - Doses do diuron aplicadas nos solos para o ensaio de sorção.

Substratos	Doses (g i.a. ha ⁻¹)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Areia	0	2.5	5	10	15	25	50	100	200	400
LVA1	0	10	20	40	60	80	100	200	300	400
LVA2	0	40	80	160	240	320	400	800	1200	1600
LVA3	0	60	120	240	360	480	600	1200	1800	2400
PVA1	0	60	120	240	360	480	600	1200	1800	2400
PVA2	0	80	160	320	480	640	800	1600	2400	3200
PVA3	0	80	160	320	480	640	800	1600	2400	3200

As unidades experimentais foram constituídas por vasos com capacidade de 0,25 L, preenchidos com os respectivos solos, com massa uniformizada para cada vaso. Foi semeado em cada unidade experimental o pepino (*Cucumis sativus*), utilizado como espécie bioindicadora da presença de resíduos do diuron nos solos. Foram semeadas seis sementes por unidade experimental, mantendo-se posteriormente 3 plantas após a emergência. Logo após a semeadura, foi feita a aplicação do Diuron Nortox 500 SC[®] na superfície dos solos. Foi utilizado

um pulverizador pressurizado a CO₂, equipado com duas pontas TTI 11002, espaçados de 0,50 m, mantidos à pressão de 200 KPa e volume de calda de 170 L ha⁻¹.

Aos 7 e 14 dias após a emergência (DAE) da planta bioindicadora foi avaliado o índice de intoxicação de planta, por meio de avaliações visuais, atribuindo-se notas de 0 (ausência de intoxicação) a 100 (morte da planta), de acordo com escala da EWRC (1964) modificada. Aos 14 DAE as plantas foram cortadas rente ao solo, acondicionadas em sacos de papel, e depois levadas à estufa de circulação forçada de ar (70 ± 2 °C), até atingir massa constante. Posteriormente, foi determinada a matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas em balança de precisão analítica (0,001 g). Os valores de intoxicação e MSPA foram expressos em porcentagem em relação ao tratamento controle (sem aplicação do herbicida).

Para o cálculo da C₅₀, os resultados foram comparados ao tratamento controle (sem herbicida), no qual foi feita análise estatística, com a utilização de modelo log-logístico não-linear, proposto por Seefeldt et al. (1995) (Equação 1). Foi utilizado o programa Sigmaplot® para análise dos dados e geração dos gráficos.

Equação 1 - Modelo log-logístico não linear.

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

Fonte: Seefeldt et al. (1995).

onde **D** e **C** representam os limites superior e inferior da curva, respectivamente; **C**₅₀ é a dose correspondente a 50% de intoxicação da planta indicadora. O limite superior da curva **D** corresponde à resposta da testemunha e o limite inferior da curva **C** é a resposta das plantas que receberam os herbicidas. O **b** descreve a declividade da curva em torno do **C**₅₀, e **X** e **Y**, as variáveis independente e dependente da equação, respectivamente.

Com os resultados de C₅₀ para os solos e areia lavada, foi calculada a razão de sorção (RS) pela relação entre a C₅₀ encontrada no solo e a C₅₀ encontrada na areia (equação 2) (SOUZA, 1994).

Equação 2 - Equação da razão de sorção entre solo e areia.

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

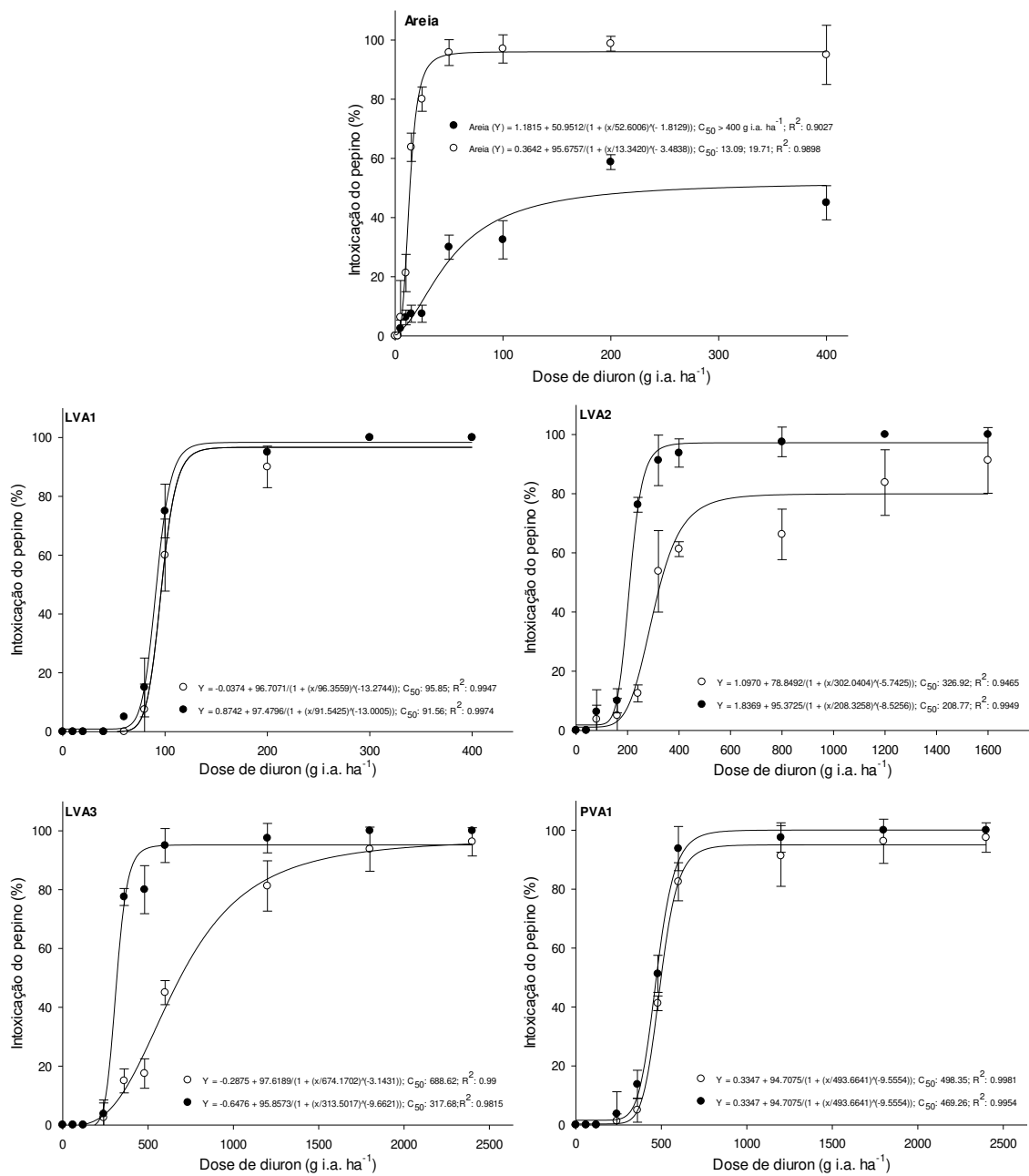
Fonte: Souza (1994).

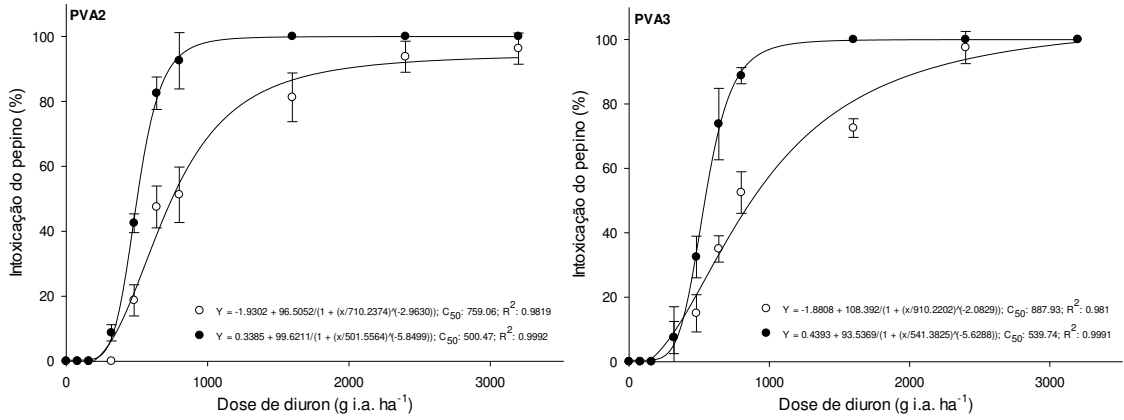
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A planta bioindicadora apresentou sintomas crescentes de intoxicação em função do aumento das doses de diuron em todos os tratamentos ao 7 e 14 dias após aplicação do herbicida. A sintomatologia observada no pepino foi condizente com o esperado dentro do mecanismo de ação (SILVA et al., 2007b).

A Figura 2 apresenta os gráficos de acúmulo de MSPA de pepino em relação às doses aplicadas de diuron nos diferentes substratos. Em relação ao acúmulo de MSPA do pepino, observou-se que com o aumento das doses do diuron, houve redução dessa variável em todos os tratamentos, corroborando com os resultados de intoxicação.

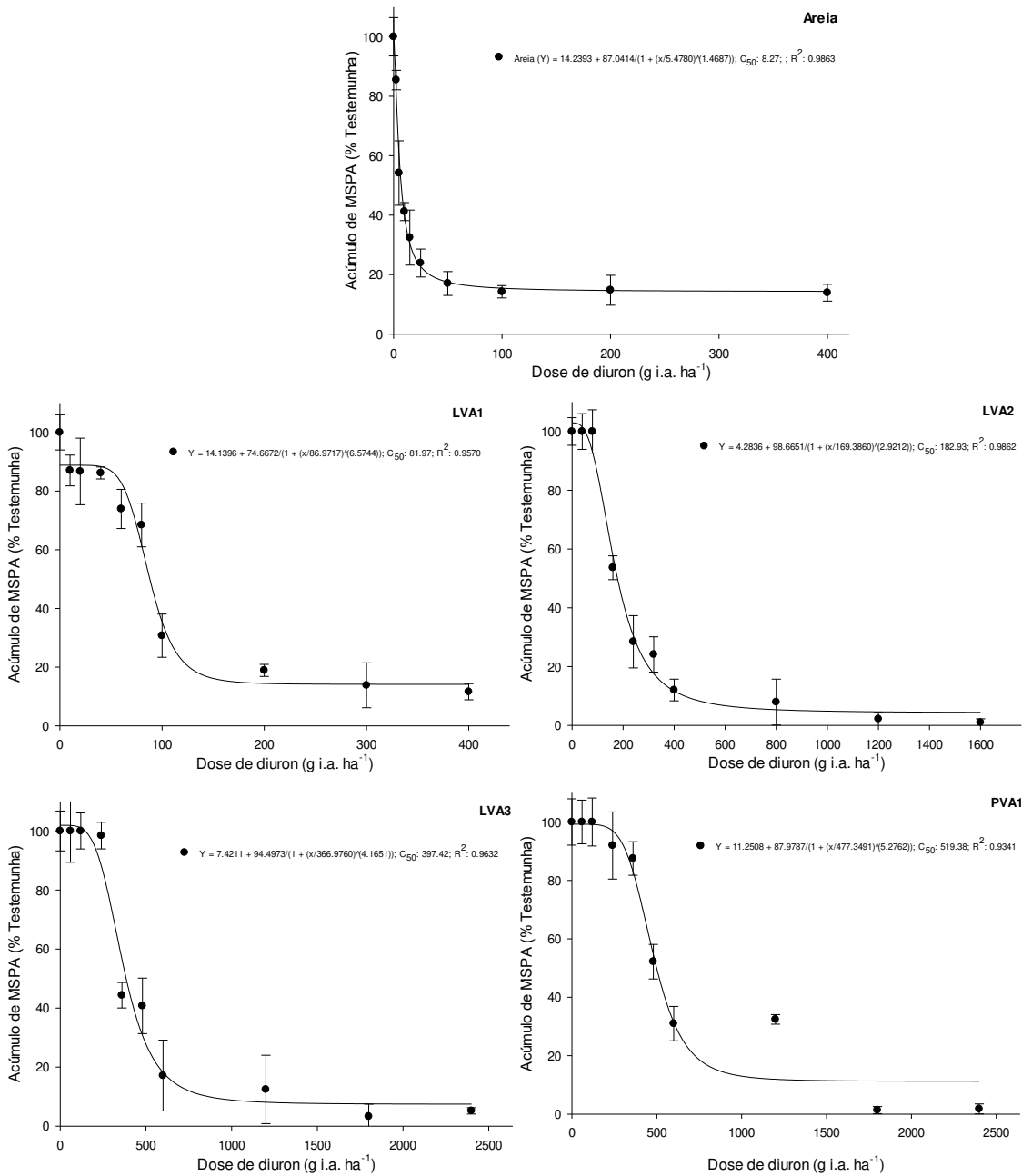
Figura 1 - Índice de intoxicação em plantas de pepino nas amostras de um LVA e um PVA tratadas com doses crescentes de diuron. Avaliações realizadas aos 7 (círculos brancos) e 14 (círculos pretos) DAE.

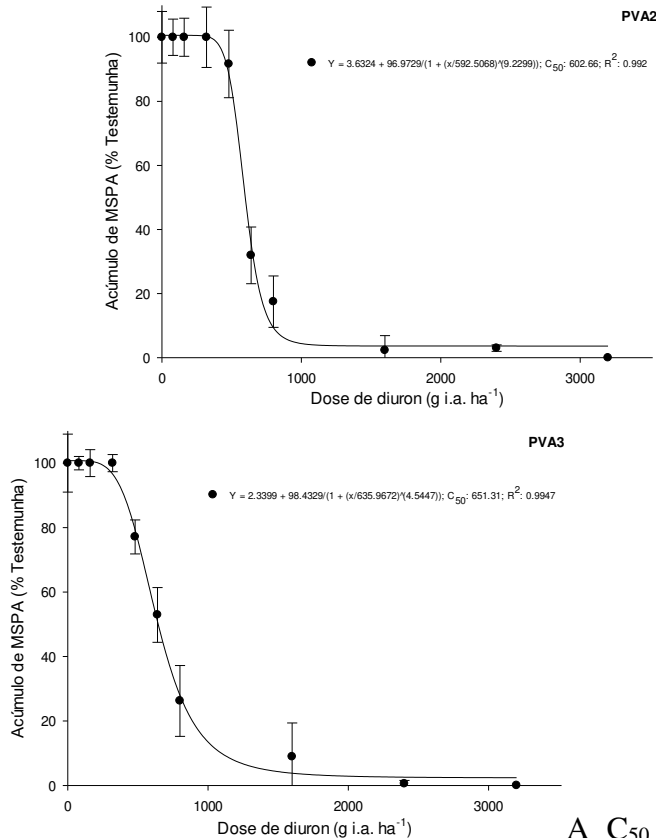




Figura

2 - Acúmulo de MSPA em plantas de pepino em amostras de um LVA e um PVA tratadas com doses crescentes de diuron.





A C_{50} foi maior nos tratamentos com maiores teores de matéria orgânica nos dois tipos de solo analisados. Consequentemente, a razão de sorção também foi maior nestas condições, sendo o PVA3 o solo que apresentou maiores valores de razão de sorção (40,23 e 77,76 g i.a. ha⁻¹) e o LVA1 o solo que apresentou menores valores de razão de sorção (5,99 e 8,91 g i.a. ha⁻¹). Considera-se que quanto maior a RS, maior foi a capacidade do solo em sorver o herbicida (SILVA et al., 2007a). Neste caso, o PVA3 foi a amostra que promoveu maior sorção do diuron. A Tabela 4 apresenta os teores de MO das amostras de solo observadas na Tabela 2, as C_{50} do diuron nas plantas de pepino e as razões de sorção (RS) encontradas no experimento.

Tabela 4 - Teores de MO, C_{50} e Razão de Sorção (RS) do diuron em plantas de pepino na areia e nos materiais de solo.

Substrato	MO	C_{50} (Intoxicação)	C_{50} (MSPA)	RS (Intoxicação)	RS (MSPA)
Areia	-	13.09	8.27	0	0
LVA1	0.66	91.56	81.97	5.99	8.91
LVA2	4.08	208.77	182.93	14.95	21.12
LVA3	5.27	317.68	397.42	23.27	47.06
PVA1	1.71	469.26	519.38	34.85	61.80
PVA2	4.08	500.47	602.66	37.23	71.87
PVA3	5.53	539.74	651.31	40.23	77.76

Estudos iniciais com diuron já demonstravam a influência da MO na sorção deste herbicida no solo. Liu et al. (1970) verificaram alta correlação da sorção do diuron com os

teores de MO e a CTC em 34 solos de Porto Rico. Em outro estudo, Boeira e Souza (2004), encontraram maiores valores de sorção do diuron em Latossolo Vermelho-Distrófico e Latossolo Vermelho-Distoférrico em relação ao Neossolo Quartzarênico. Tal fato foi devido aos maiores teores de MO dos latossolos, no qual a sorção do diuron correlacionou-se positivamente com o teor de carbono orgânico nos solos. Já Rocha et al. (2013), avaliou a sorção do diuron em quatro tipos de latossolos coletados nas cidades de Viçosa e Três Marias – MG. Estes autores encontraram maiores valores de K_{oc} nos Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho-Amarelo húmico, os quais apresentavam maiores teores de MO. Utilizando duas amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo, com e sem adição de esterco, Sousa et al. (2018) verificaram que há relação direta na adição de esterco aos substratos com a sorção do diuron, devido ao aumento do teor de MO que o esterco proporciona.

A alta afinidade do diuron com a MO do solo pode ser explicada pelo fato do herbicida ser não-iônico, ou seja, permanecer na sua forma molecular na solução do solo. Como possui baixa solubilidade em água, pode ser atraído aos sítios hidrofóbicos da MO, que apresentam uma alta superfície específica, bem como realizar interações físicas como pelas forças de Van der Waals e pontes de hidrogênio, que atuam de forma independente aos demais mecanismos de ligação (PRATA e LAVORENTI, 2000). Além do mais, grupos funcionais como hidroxilas, grupos aminas e carboxilatos podem interagir com os herbicidas e aumentar sua sorção no solo (LI et al., 2017).

Apesar de alguns substratos apresentarem teores de MO semelhantes (LVA2 e PVA2; LVA3 e PVA3), os valores de RS foram maiores nas amostras dos PVAs quando comparados com as dos LVAs. Tal fato pode ser explicado devido às amostras do LVA apresentarem maiores teores de argila que as do PVA. Apesar dos minerais da fração argila apresentarem alta superfície específica, são constituídos basicamente de fragmentos de rocha, minerais primários e minerais secundários (OLIVEIRA e BRIGHENTI, 2011). Desta forma, possuem menos sítios hidrofóbicos para atrair o diuron, que é um herbicida não-iônico, predominando interações do tipo Van der Waals e pontes de hidrogênio nesses solos argilosos (ARAUJO e MELO, 2012).

Tendo em vista a influência da MO na sorção do diuron, isto evidencia a importância do conhecimento desse atributo do solo quando se pretende definir doses do diuron a serem aplicadas em pré-emergência, visando eficiência agrônômica e segurança ambiental. Aplicações sem o conhecimento dos atributos do solo, principalmente matéria orgânica, podem comprometer a eficiência do diuron no controle de plantas daninhas, além de causar intoxicação nas culturas e contaminação do solo e corpos de água subterrâneos.

CONCLUSÕES

A sorção do diuron foi maior nas amostras de solo com maiores teores de matéria orgânica. Aplicações sem este conhecimento podem resultar em falhas de controle de plantas daninhas, intoxicação das culturas e contaminação do solo e de águas subterrâneas e superficiais;

As amostras de PVA promoveram maior sorção do diuron em comparação com amostras de LVA com teor semelhante de MO;

A C_{50} do diuron variou de 13,09 a 539,74 (intoxicação) e 8,27 a 651,31(MSPA);

A razão de sorção do diuron variou de 5,99 a 40,23 (intoxicação) e 8,91 a 77,76 (MSPA);

LITERATURA CITADA

ALMEIDA, C. S.; MENDES, K. F.; JUNQUEIRA, L. V.; ALONSO, F. G.; CHITOLINA, G. M.; TORNISIELO, V. L. Diuron sorption, desorption and degradation in anthropogenic soils compared to sandy soil. **Planta Daninha**, v. 38, 2020.

ARAÚJO, I. C. L.; MELO, V. F.; ABATE, G.; DOLATTO, R. G. Sorção de diuron em minerais da fração argila. **Química Nova**, v. 35, n. 7, p. 1312-1317, 2012.

BARCELLOS JUNIOR, L. H. **Comportamento do saflufenacil em latossolos com diferentes teores de matéria orgânica**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2018.

BOEIRA, R. C.; SOUZA, M. D. **Sorção de diuron em solos com diferentes texturas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 5p.

CAVALCANTE, J. K. G.; MENDES, K. F.; INOUE, M. H.; SANTOS, P. R. J.; FONSECA, A. P. S.; FRANCO, E. L. P. Eficácia e seletividade do metribuzin e diuron em pré-transplântio do tomate sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 4, p. 615-1-12), 2018.

CHENG, C. H.; LIN, T. P.; LEHMANN, J.; FANG, L. J.; YANG, Y. W.; MENYAILO, O. V.; CHANG, K. H.; LAI, J. S. Sorption properties for black carbon (wood char) after long term exposure in soils. **Organic Geochemistry**, v. 70, p. 53-61, 2014.

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 Reseach**, v. 4, p. 88, 1964.

GONÇALVES, V. A.; FERREIRA, L. R.; TEIXEIRA, M. F.; FREITAS, F. C. L.; D'ANTONINO, L. Sorption of indaziflam in brazilian soils with different pH values. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 494-504, 2021.

INOUE, M. H.; OLIVEIRA JR; R. S. D.; CONSTANTIN, J.; ALONSO, D. G.; SANTANA, D. C. D. Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, p. 631-638, 2008.

ISRAELACHVILI, J. N. **Intermolecular and surface forces**. 3. ed. Massachussetts, EUA: Academic press, 2011. 704p.

LI, F.; PAN, B.; LIANG, N.; CHANG, Z.; ZHOU, Y.; WANG, L.; LI, H.; XING, B. Reactive mineral removal relative to soil organic matter heterogeneity and implications for organic contaminant sorption. **Environmental Pollution**, n. 227, p. 49 – 56, 2017.

LIU, L. C.; CIBES-VIADE, H.; KOO, F. K. S. Adsorption of ametryne and diuron by soils. **Weed Science**, v. 18, n. 4, p. 470-474, 1970.

OLIVEIRA, B.; 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: Omnipax, p. 263 – 304. 2011.

PPDB. **Pesticide Properties DataBase**. Diuron (Ref: DPX 14740). Disponível em: <<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/260.htm>>. Acesso em 06 de agosto de 2021.

PRATA, F; LAVORENTI, A. Comportamento de herbicidas no solo: influência da matéria orgânica. **Revista Biociências**, v. 6, n. 2, 2000.

ROCHA, P. R. R. **Sorção, dessorção, lixiviação e meia-vida do diuron em quatro latossolos brasileiros**. 2011. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia: Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

ROCHA, P. R. R.; FARIA, A. T.; BORGES, L. G. F. C.; SILVA, L. O. C.; SILVA, A. A.; FERREIRA, E. A. Sorção e dessorção do Diuron em quatro latossolos brasileiros. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 231-238, 2013.

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.

SILVA, A. A., VIVIAN, R.; OLIVEIRA JUNIOR, R. B. Herbicidas: Comportamento no Solo. In: SILVA A. A., SILVA J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, p. 155–209, 2007a.

SILVA, A. A., FERREIRA, F. A., FERREIRA, L. R. Herbicidas: Classificação e mecanismos de ação. In: SILVA A. A., SILVA J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, p. 58–117, 2007b.

SILVA, G. R.; D'ANTONINO, L.; FAUSTINO, L. A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; TEXEIRA, C. C Sorption of fomesafen in brazilian soils. **Planta Daninha**, v. 31, p. 971-977, 2013.

SOUSA, G. V.; PEREIRA, G. A. M.; TEIXEIRA, M. F. F.; FARIA, A. T.; PAIVA, M. C. G.; SILVA, A. A. Sorption and desorption of diuron, hexazinone and mix (diuron + hexazinone) in soils with different attributes. **Planta Daninha**, v36:e018176803, 2018.

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 (Mestrado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.

VAN WYK, L. J.; REINHARDT, C. F. A bioassay technique detects Imazethapyr leaching and liming-dependent activity. **Weed technology**, v. 15, p. 1-5, 2001.

ESTIMATIVA DA LIXIVIAÇÃO DO DIURON EM SOLOS COM DIFERENTES TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA

Resumo – O diuron é recomendado para uso em diversas culturas de grande importância econômica no Brasil, dentre elas, o algodão. A seletividade para esta cultura está relacionada com sua posição no solo. Em razão disso, é imprescindível que se conheça, antes da sua aplicação, a capacidade de ser lixiviado ou de se mover no perfil do solo, para se garantir eficiência agrônômica e ambiental. O objetivo do trabalho foi estimar a lixiviação do diuron em solos com diferentes teores de matéria orgânica. Amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e um Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) foram coletadas no município de Viçosa – MG. Nestas amostras foram adicionadas três doses de esterco, na proporção solo:esterco (v/v): 1:0, 0,75:0,25, 0,60:0,40, totalizando 6 tratamentos (LVA1, LVA2, LVA3, PVA1, PVA2, PVA3). O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal de Viçosa, em delineamento inteiramente casualizado, com 3 repetições. Foram utilizadas colunas de PVC, preenchidas com as amostras de solo. O diuron foi aplicado na dose de 2400 g i.a. ha⁻¹ e, posteriormente, foi feita simulação de chuva no topo das colunas. Após o intervalo de 48 horas, as colunas foram seccionadas nas profundidades (cm): 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45. Nos solos contidos em cada profundidade foram semeadas a planta bioindicadora para verificar presença do herbicida nas diferentes profundidades do solo dentro da coluna. O diuron não promoveu intoxicação ou redução de matéria seca nas plantas de pepino nas camadas abaixo de 5 cm, não apresentando potencial de lixiviação nas amostras de solo. O diuron, independente dos diferentes solos, ficou retido na camada de 0-5 cm. Considerando culturas semeadas na profundidade de 5 cm, que possuem raízes pivotantes, a seletividade do diuron estaria assegurada para estas culturas. O herbicida não apresentaria risco ambiental, ou seja, contaminação do perfil do solo e de águas superficiais e subterrâneas, desde que não ocorra erosão laminar ou superficial.

Palavras-chave: contaminação ambiental. herbicida. movimentação no perfil do solo. seletividade toponômica.

ESTIMATION OF DIURON LEACHING IN SOILS WITH DIFFERENT ORGANIC MATTER CONTENTS

Abstract – Diuron is recommended for use in several cultures of great economic importance in Brazil, including cotton. It is known that their selectivity for these crops is related to their position in the soil. Therefore, it is essential to know, before its application, the ability to be leached or to move in the soil profile, to ensure agronomic efficiency (control efficiency and absence of intoxication in crops) and environmental (contamination of soil profile, groundwater and surface water). This research aimed to estimate diuron leaching in soils with different organic matter contents. Samples of a Red-Yellow Latosol (LVA) and a Red-Yellow Argisol (PVA) were collected in the municipality of Viçosa - MG. In these samples, three doses of manure were added, in the ratio of soil:manure (v/v): 1:0, 0.75:0.25, 0.60:0.40, totaling 6 treatments (LVA1, LVA2, LVA3, PVA1, PVA2, PVA3). The experiment was carried out in a greenhouse of the Federal University of Viçosa, in a completely randomized design, with 3 replications. PVC columns were used, filled with soil samples. The diuron was applied at a dose of 2400 g a.i. ha⁻¹ and subsequently rain simulation was made at the top of the columns. After the 48-hour interval, as columns were sectioned at depths (cm): 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45. In the soils contained in each depth the indicator plant was seeded to verify the presence of the herbicide at the different soil depths within the column. Diuron does not promote intoxication or reduction of dry matter in cucumber plants in layers below 5 cm, it did not present leaching potential in soil samples. It was concluded that the diuron, regardless of the different soils, was retained in the 0-5 cm layer. Considering cultures sown at a depth of 5 cm that have pivotal roots, the selectivity of the diuron would be ensured for these cultures. The herbicide did not present an environmental risk, i.e., contamination of soil profile and surface and groundwater, provided that there is no laminar or surface erosion.

Keywords: herbicide. movement in the soil profile. toponomic selectivity. environmental contamination.

INTRODUÇÃO

O processo de lixiviação corresponde ao movimento descendente dos herbicidas na matriz do solo ou por meio da infiltração da água no solo, o qual, ocorrendo de forma excessiva, contribui para a contaminação de corpos de água subterrâneos (INOUE et al., 2003). Tal processo depende principalmente da sorção e persistência do herbicida no solo. A solubilidade tem menor influência, embora herbicidas pouco solúveis, como é o caso do diuron, possam ter seu movimento no perfil do solo limitado (SILVA et al., 2007a). Logo, o potencial de lixiviação do diuron irá depender também dos teores de matéria orgânica e argila do solo, propriedades estas que se correlacionam positivamente com a sorção e, conseqüentemente, se correlacionam negativamente com a lixiviação.

Alguns critérios são utilizados para classificar um herbicida como lixiviável ou não. Na escala GUS (Groundwater Ubiquity Score), herbicidas com índice inferior a 1,8 são considerados não-lixiviáveis e acima de 2,8 são considerados lixiviáveis. Índices encontrados entre essas faixas são considerados com potencial lixiviador intermediário (GUSTAFSON, 1989). O diuron possui índice de GUS igual a 2.65, considerado com potencial lixiviador intermediário, além de ser considerado persistente (PPDB, 2022). Para classificar os herbicidas na escala GUS, utiliza-se a seguinte equação:

$$GUS = \log Dt50 *$$

A equação utiliza os valores do tempo de meia vida (Dt50) e coeficiente de sorção normalizado para o teor de carbono orgânico (K_{oc}) para definir a capacidade de lixiviação dos herbicidas (SILVA et al., 2007a).

A lixiviação é um processo de transporte que irá influenciar na seletividade do diuron. Pode-se considerar que a seletividade de um herbicida é dependente de alguns fatores, como estágio de desenvolvimento das plantas, condições climáticas, tipo de solo, dose aplicada, formulação, localização temporal e localização espacial do herbicida em relação à planta (SILVA et al., 2007a; SANTOS et al., 2011). Este último é também conhecido como seletividade por posição ou seletividade toponômica, obtida pelo posicionamento físico, resultando na separação espacial entre as plantas sensíveis e o herbicida (SANTOS et al., 2011). O diuron, apesar de ser considerado não-seletivo para as plantas daninhas, possui seletividade para algumas culturas como algodão, cana-de-açúcar, citros, etc., por conta do seu posicionamento no solo. Logo, o ideal para que ocorra o controle de plantas daninhas sem afetar

a cultura de interesse é que o diuron fique retido na camada superficial do solo, ou seja, não lixivie para camadas inferiores.

A sorção do diuron é descrita como dependente principalmente pelos teores de matéria orgânica no solo (SOUZA et al., 2000; ROCHA et al., 2013). Consequentemente, solos com baixo teor de MO e maior teor de areia possuem maior potencial de lixiviação do diuron. Em solo com alto teor de areia e baixo teor de matéria orgânica, Muendo et al. (2021) verificaram alto potencial de lixiviação do diuron, recomendando cuidado no momento de aplicação de doses neste solo. Em contrapartida, em solo enriquecido com *biochar*, apresentando altos teores de MO, houve redução significativa da lixiviação do diuron em areia (CEDERLUND et al., 2017). Os autores sugerem que a aplicação de *biochar* em solos arenosos pode ser uma alternativa para o uso seguro do diuron, diminuindo a possibilidade de contaminação de corpos de água subterrâneos.

Portanto, é necessário conhecer as propriedades físico-químicas dos solos no momento de recomendação de doses do diuron, uma vez que processos como a sorção e a lixiviação podem influenciar a eficiência de controle deste herbicida, afetar sua seletividade às culturas e causar contaminação de lençóis freáticos e outros danos ambientais.

O objetivo deste trabalho foi estimar o potencial de lixiviação do diuron em solos com diferentes teores de matéria orgânica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Federal de Viçosa. Foram coletados dois materiais de solo, provenientes de áreas sem histórico de uso de herbicidas em Viçosa - MG, sendo um Latossolo Vermelho-Amarelo e um Argissolo Vermelho-Amarelo. Os solos foram incubados com esterco bovino para diferenciar os teores de matéria orgânica. Posteriormente, foi feita análise física e química do solo. O resultado das análises está disposto na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos físico-químicos dos materiais de solo utilizados no experimento.

Solos	Tratamento	Solo:Estercos	MO	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	T	V	A. grossa	A. fina	Silte	Argila
		(v:v)	dag Kg ⁻¹	H ₂ O	----mg dm ⁻³ ----	-----cmol _c dm ⁻³ -----	%	-----Kg Kg ⁻¹ -----							
LVA	LVA1	1:0	0,66	4,88	1,0	4	0,27	0,06	2,3	2,64	12,9	0,109	0,148	0,032	0,710
	LVA2	0,75:0,25	4,08	6,43	47,5	783	4,15	2,15	1,1	9,41	88,3	0,178	0,153	0,025	0,643
	LVA3	0,6:0,4	5,27	6,84	87,6	1.228	5,70	3,08	0,5	12,43	96,0	0,186	0,136	0,127	0,551
PVA	PVA1	1:0	1,71	5,51	1,7	103	1,95	0,59	2,9	5,70	49,1	0,280	0,171	0,164	0,485
	PVA2	0,75:0,25	4,08	6,41	62,4	930	4,74	2,46	1,8	11,38	84,2	0,276	0,182	0,077	0,464
	PVA3	0,6:0,4	5,53	6,75	113,7	1.308	6,02	3,30	1,1	13,77	92,0	0,278	0,154	0,077	0,490

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.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 6x9, com três repetições, correspondendo aos seis materiais de solos e nove profundidades avaliadas, além de três testemunhas para cada parcela. Os materiais de solo foram acondicionados em colunas de PVC de 10 cm de diâmetro por 45 cm de comprimento, com as paredes internas previamente parafinadas para evitar escoamento lateral de água. As colunas tiveram a base inferior revestida por papel filtro, evitando-se perdas de solo. Após o preenchimento, as colunas foram saturadas com água até o nível de 80 % da altura da coluna, por um período de 18 horas, promovendo o umedecimento 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 as amostras se encontrarem em uma condição próxima à capacidade de campo. Em seguida, foi feita a aplicação do diuron no topo das colunas, em dose comercial de 2400 g i.a ha⁻¹. Foi utilizado um pulverizador pressurizado a CO₂, equipado com duas pontas TTI 11002, espaçados de 0,50 m, mantidos à pressão de 200 Kpa e volume de calda de 170 L ha⁻¹.

Após a aplicação do herbicida, com as colunas ainda na posição vertical, foram realizadas simulações de chuvas, com a aplicação de lâmina de 60 mm de água. O volume aplicado foi aferido utilizando-se pluviômetros acoplados à parede lateral das colunas. Posteriormente, as colunas permaneceram por mais 48 horas na posição vertical para drenagem do excesso de água remanescente. Em seguida, as colunas foram seccionadas a cada 5 cm a partir do topo, totalizando 9 seções por coluna. As amostras de cada seção foram homogeneizadas e transferidas para vasos com capacidade de 0,25 L, onde foram semeadas sementes de pepino, para indicar a presença do herbicida no solo.

A lixiviação do herbicida nas colunas de solo foi determinada por método indireto, avaliando-se o índice de intoxicação da planta indicadora aos 7 e 14 DAE. Na avaliação visual do índice de intoxicação da planta indicadora foram atribuídas notas de 0 (ausência de intoxicação) a 100 (morte da planta) de acordo com escala da EWRC (1964) modificada. Aos 14 DAE, as plantas foram seccionadas rente ao solo e acondicionadas em sacos de papel, sendo estes posteriormente levados a estufa de circulação forçada de ar (70 ± 2 °C), até atingir massa constante. Posteriormente, foi determinada a matéria seca da parte aérea das plantas em balança de precisão analítica (0,001 g). Os valores obtidos de intoxicação e MSPA das plantas foram comparados aos obtidos no tratamento controle (sem aplicação do herbicida). As médias dos dados foram apresentadas com seus respectivos desvios padrão para observação da capacidade de movimentação do diuron no perfil das diferentes amostras de solo. Foi utilizado o programa Sigmaplot® para geração dos gráficos.

A amostra PVA1 foi descartada em razão do ataque de patógenos em seu tratamento controle, inviabilizando a comparação com os tratamentos com o herbicida visando a obtenção do índice de intoxicação e MSPA. A amostra de solo PVA2 apresentou resultados totalmente discrepantes em relação às demais amostras. Apesar de haver intoxicação das plantas e redução de MSPA, esperava-se que o pepino tivesse o mesmo comportamento dos demais tratamentos. Levando em consideração as concentrações de MO dos substratos observados na tabela 1 e os obtidos neste ensaio, considerou-se que o comportamento do diuron nesta amostra em específico tenha sido resultado de um erro experimental desconhecido.

Pôde-se notar com os dados expostos nas Figuras 1 e 2 que o diuron não lixiviou em nenhuma das amostras de solo, indicando ausência ou baixa concentração de resíduos deste herbicida nas camadas inferiores. Tal fato indica que a seletividade toponômica do herbicida não seria afetada, nas condições deste experimento.

A amostra LVA1, apesar de apresentar baixo teor de MO, não apresentou sintomas do diuron na espécie indicadora nas camadas abaixo de 5 cm. Resultado semelhante foi encontrado por Inoue et al. (2008), que, avaliando a lixiviação do diuron em Latossolo Vermelho-Distroférico de textura argilosa, verificaram que mesmo uma lâmina de 80 mm de chuva não foi capaz de promover a lixiviação desse herbicida. Os autores concluíram que o alto teor de argila presente pode ter proporcionado uma maior dificuldade de movimentação da água no perfil do solo, contribuindo para menor movimentação descendente do diuron. Neste mesmo trabalho, os autores verificaram que em Latossolo Vermelho-Distroférico de textura franco-arenosa, o diuron diminuiu a MSPA da espécie indicadora utilizada até a camada de 5-10 cm, em lâmina de chuva de 60 mm, contrastando com os resultados deste trabalho.

Em estudo avaliando a lixiviação de herbicidas em seis profundidades, Guimarães et al. (2019), utilizando ^{14}C -diuron, recuperaram 90% do que foi aplicado na camada de 0-5 cm em todos os 5 solos utilizados nos experimentos, entre eles dois tipos de Latossolos e um Argissolo. Todos os solos apresentavam diferentes teores de argila e MO, indicando que mesmo em solos com baixa sorção, o diuron não apresenta potencial de lixiviação.

Avaliando o potencial de lixiviação do diuron em um solo argiloso (24 g dm^{-3} de MO) e um franco-arenoso (10 g dm^{-3} de MO), Garcia et al. (2012) verificaram que o herbicida causou intoxicação das plantas somente até a camada de 0-10 cm, em diferentes lâminas d'água. Os autores concluíram que a lixiviação do diuron não teve relação com as diferentes texturas e simulações de precipitação utilizadas.

Avaliando o potencial de lixiviação do diuron em solo argiloso (41% de MO), Reis et al. (2017), utilizando ^{14}C -diuron, aplicado isoladamente, recuperaram 96,1% do herbicida

aplicado na camada de 0-5 cm. Quando aplicado em mistura com ^{14}C -hexazinone e ^{14}C -sulfometuron-methyl, houve recuperação de quase 100% do que foi aplicado na camada de 0-5 cm. Os autores concluíram que a mistura não lixiviou devido à presença do diuron, uma vez que o ^{14}C -hexazinone, quando aplicado de forma isolada, lixiviou de forma significativa até a camada de 20-25 cm.

Em estudo avaliando a seletividade toponômica de diferentes herbicidas na cultura do algodão, Santos et al. (2011) verificaram que o diuron causou redução no acúmulo de matéria seca das plantas na profundidade de semeadura de 3 cm, indicando que o herbicida permanece nas camadas mais superficiais do solo. Os autores sugerem que em semeaduras mais profundas, o diuron não irá causar danos à cultura do algodão devido à sua baixa mobilidade vertical no solo.

Diante dos resultados obtidos, pôde-se perceber que o diuron não apresenta potencial de lixiviação nos materiais de solo avaliados, além da manutenção da sua seletividade para culturas semeadas na profundidade de 5 cm, que possuem sistema radicular pivotante, nas condições deste experimento. Contudo, é necessário cuidado no momento de aplicação deste herbicida e na definição de doses, uma vez que em solos arenosos com baixo teor de MO, o diuron pode promover contaminação de corpos de água subterrâneos (MATALLO et al., 2003). Portanto, deve-se conhecer as características físico-químicas dos solos em que será aplicado, a fim de promover controle eficiente das plantas daninhas, seletividade da cultura e redução do risco de contaminação ambiental.

CONCLUSÕES

O diuron não apresentou potencial de lixiviação nos materiais de solos de LVA e PVA, causando intoxicação nas plantas de pepino somente na camada de 0-5 cm de profundidade;

A seletividade toponômica do diuron não seria afetada nas condições deste experimento, para culturas semeadas na profundidade de 5 cm;

O diuron não apresentou potencial de contaminação do perfil do solo e de corpos de água subterrâneos.

LITERATURA CITADA

CEDERLUND, H.; BORJESSON, E.; STENSTROM, J. Effects of a wood-based biochar on the leaching of pesticides chlorpyrifos, diuron, glyphosate and MCPA. **Journal of Environmental Management**, v. 15, n. 191, p. 28-34, 2017.

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

GARCIA, D. B.; ALVES, S. N. R.; CASON, J. B.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Lixiviação de diuron, hexazinone e sulfometuron-methyl em formulação comercial e isoladamente em dois solos contrastantes. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 11, n. 2, p. 222-230, 2012.

GUIMARÃES, A.; MENDES, K.; CAMPION, T.; CHRISTOFFOLETI, P.; TORNISIELO, V. Lixiviação de Herbicidas Comumente Aplicados na Cana-de-Açúcar em Cinco Solos Agricultáveis. **Planta Daninha**, v. 37, 2019.

GUSTAFSON, D. I. Groudwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachibility. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 8, n. 4, p. 339-357, 1989.

INOUE, M. H.; OLIVEIRA JR, R. S.; REGITANO, J. B.; TORMENA, C. A.; TORNISIELO, V. L.; CONSTANTIN, J. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no Estado do Paraná. **Planta daninha**, v. 21, p. 313-323, 2003.

INOUE, M. H.; OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; ALONSO, D. G.; SANTANA, D. C. D. Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, p. 631-638, 2008.

MATALLO, M. B.; LUCHINI, L. C.; GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; CERDEIRA, A. L.; MARIN, G. C. Lixiviação dos herbicidas tebutiuron e diuron em colunas de solo. **Pesticidas: revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, v. 13, 2003.

MUENDO, B. M.; SHIKUKU, V. O.; GETENGA, Z. M.; LALAH, J. O.; WANDIGA, S. O.; ROTHBALLER, M. Adsorption-desorption and leaching behavior of diuron on selected Kenya agricultural soils. **Helyon**, v. 7, n. 2, 2021.

PPDB. **Pesticide Properties DataBase**. Diuron (Ref: DPX 14740). Disponível em: <<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/260.htm>>. Acesso em 06 de agosto de 2021.

REIS, F. C.; TORNISIELO, V. L.; PIMPINATO, R. F.; MARTINS, B. A. B. VICTÓRIA FILHO, R. Leaching of diuron, hexazinone, and sulfometuron-methyl applied alone and in mixture in soils with contrasting textures. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 65, n. 13, p. 2645-2650, 2017.

ROCHA, P. R. R.; FARIA, A. T.; BORGES, L. G. F. C.; SILVA, L. O. C.; SILVA, A. A.; FERREIRA, E. A. Sorção e desorção do Diuron em quatro latossolos brasileiros. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 231-238, 2013.

SANTOS, G.; FRANCISCHINI, A. C.; OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; ALONSO, D. G.; GUERRA, N.; OLIVEIRA NETO, A. M.; GEMELLI, A. Seletividade toponômica de

herbicidas para a cultura do algodão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 95-102, 2011.

SILVA, A. A., VIVIAN, R.; OLIVEIRA JUNIOR, R. B. Herbicidas: Comportamento no Solo. In: SILVA A. A., SILVA J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, p. 155–209, 2007a.

SILVA, A. A., FERREIRA, F. A., FERREIRA, L. R. Herbicidas: Classificação e mecanismos de ação. In: SILVA A. A., SILVA J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, p. 58–117, 2007b.

SOUZA, M. D.; BOEIRA, R. C.; GOMES, M. A. F. Adsorção e desorção de diuron em solos tropicais. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 10, 2000.

EFICIÊNCIA DO DIURON NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS E CORRELAÇÃO ENTRE ATRIBUTOS DO SOLO, SORÇÃO E DOSES DO DIURON A SEREM RECOMENDADAS PARA DIFERENTES SOLOS

Resumo – O diuron é um herbicida não seletivo recomendado para o controle de várias espécies de plantas daninhas, em doses diferenciadas para cada tipo de solo. Sua eficiência de controle está condicionada ao seu comportamento no solo, uma vez que sua sorção é influenciada pelos atributos do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do diuron no controle de plantas daninhas e a correlação entre os atributos do solo, sorção e doses do diuron a serem recomendadas para diferentes solos. Foi realizada curva de dose-resposta do diuron em duas espécies de plantas daninhas (*Amaranthus hybridus* e *Eleusine indica*). As variáveis avaliadas foram notas de intoxicação e acúmulo de matéria seca da parte aérea. Com os dados das variáveis foi possível calcular a C_{80} (dose necessária para causar 80% de intoxicação de planta ou 80% de redução de matéria seca) e, conseqüentemente, a dose comercial do diuron. Foi feita análise de correlação entre os resultados obtidos nos ensaios de sorção e eficiência de controle com os atributos físico-químicos dos solos para avaliar sua influência na definição de doses do diuron. Subdoses de diuron foram eficientes no controle de *Amaranthus hybridus* e *Eleusine indica*, definindo-se doses comerciais do diuron eficientes do ponto de vista agrônomo. Houve correlação positiva e significativa das doses que controlaram as plantas daninhas com os atributos físico-químicos das amostras e os parâmetros obtidos no ensaio de sorção. Os teores de matéria orgânica devem ser considerados no momento de recomendação de doses seguras do diuron, do ponto de vista agrônomo e ambiental. Contudo, a análise de correlação evidenciou que apenas as correlações entre atributos do solo e parâmetros da sorção não permitem determinar com eficiência as doses de diuron a serem recomendadas, nas condições deste experimento. Devem ser realizados mais estudos, utilizando maior número de amostras, com o objetivo de obter resultados que auxiliem na recomendação de doses seguras deste herbicida.

Palavras-chave: características do solo; eficiência agrônoma; herbicida.

DIURON EFFICIENCY IN WEED CONTROL AND CORRELATION BETWEEN SOIL ATTRIBUTES, SORPTION AND DIURON DOSES TO BE RECOMMENDED FOR DIFFERENT SOILS

Abstract – Diuron is a non-selective herbicide recommended for the control of a wide spectrum of weeds, in different doses for each type of soil. Its control efficiency is conditioned to its behavior in the soil, since its sorption is influenced by soil attributes. Since this herbicide is sordid in the soil, it is not available to be absorbed by weeds and crops. As a result, it is essential to know the interactions of diuron with soil colloids to determine the dose necessary for efficient weed control. The objective of this research was to evaluate the efficiency in the control of diuron weeds and the correlation between soil attributes, sorption and diuron doses to be recommended for different soils. A diuron dose-response curve was performed in two weed species (*Amaranthus hybridus* and *Eleusine indica*). As the variables evaluated were notes of intoxication and accumulation of dry matter of the aerial part. With the variables data it was possible to calculate the C_{80} (dose necessary to cause 80% of intoxication or 80% of dry matter reduction) and, consequently, a commercial dose of diuron. Correlation analysis was performed between the results obtained in the sorption and control efficiency tests with the physical-chemical attributes of the soils to evaluate its influence on the definition of diuron doses. Diuron subdoses were efficient in controlling *Amaranthus hybridus* and *Eleusine indica*, defining commercial doses of diuron efficient from the agronomic point of view. There was a positive and significant correlation of the doses that control the weeds with the physical-chemical attributes of the samples and the parameters obtained in the sorption assay. Organic matter contents should be considered at the time of recommendation of safe doses of diuron from an agronomic and environmental point of view. However, the correlation analysis showed that only the correlations between soil attributes and sorption parameters do not allow efficiently determining the diuron doses to be recommended. Further studies should be carried out, using a larger number of samples, in order to obtain results that help in the recommendation of safe doses of this herbicide.

Keywords: agronomic and environmental efficiency; herbicide; parameters to define doses.

INTRODUÇÃO

O herbicida diuron é seletivo para diversas culturas, movimenta-se na planta exclusivamente via xilema, apresentando amplo espectro de controle em monocotiledôneas e eudicotiledôneas. Indicado para aplicação em pré-emergência das plantas daninhas nas culturas de abacaxi, alfafa, algodão, banana, cacau, café, cana-de-açúcar, citros, eucalipto, seringueira, soja e uva (MAPA, 2021). Este produto foi muito utilizado em aplicações dirigidas em misturas com paraquat no controle de biótipos de plantas resistentes a outros herbicidas e também como dessecante na implantação de uma nova cultura (VARGAS et al., 2007; MAPA, 2021). Pode ser aplicado em atividades não agrícolas como controle de plantas daninhas em ferrovias, rodovias, pistas de aeroportos, oleodutos, subestações elétricas e pátios industriais. Também pode ser utilizado na manutenção de aceiros de florestas (observada a legislação específica) e de reflorestamentos (ANVISA, 2003; MAPA, 2021).

Em 2015 o diuron foi um dos herbicidas mais utilizados nas áreas de produção agrícola, em especial nas culturas da cana-de-açúcar e do algodão (PIGNATI et al., 2017). No Brasil, há registro de 62 produtos que possuem o diuron como ingrediente ativo (i.a.), sozinho ou em mistura com outros i.a. Dentre estes, há o Diuron Nortox 500 SC[®], de formulação do tipo Suspensão Concentrada, descrito em bula como seletivo, sistêmico, recomendado para uso em pré e pós-emergência (MAPA, 2021). A recomendação de doses e espécies controladas por esta formulação estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Espécies de plantas daninhas controladas e recomendação de doses do Diuron Nortox 500 SC®.

ALVO BIOLÓGICO		DOSE (Kg i.a. ha ⁻¹)		
Nome comum	Nome Científico	Solo leve	Solo médio	Solo pesado
Mentrasto	<i>Ageratum conyzoides</i>	1,6	2,0 - 2,4	2,0 – 3,2
Apaga-fogo	<i>Alternanthera tenella</i>	1,6	-	-
Caruru-rasteiro	<i>Amaranthus deflexus</i>	1,6	2,0 - 2,4	2,0 – 3,2
Caruru-de-mancha	<i>Amaranthus viridis</i>	1,6	2,0 - 2,4	-
Caruru-roxo	<i>Amaranthus hybridus</i>	1,6	2,0 - 2,4	2,0 – 3,2
Picão-preto	<i>Bidens pilosa</i>	1,6	2,0 - 2,4	2,0 – 3,2
Capim-marmelada	<i>Brachiaria plantaginea</i>	1,6	2,0 - 2,4	2,0 – 3,2
Capim-carrapicho	<i>Cenchrus echinatus</i>	1,6	2,0 - 2,4	-
Tiririca	<i>Cyperus sesquiflorus</i>	1,6	2,0 - 2,4	-
Pega-Pega	<i>Desmodium adscendens</i>	1,6	2,0 - 2,4	2,0 – 3,2
Capim-colchão	<i>Digitaria horizontalis</i>	1,6	2,0 - 2,4	2,0 – 3,2
Capim-amargoso	<i>Digitaria insularis</i>	1,6	-	-
Capim-colchão	<i>Digitaria sanguinalis</i>	1,6	2,0 - 2,4	2,0 – 3,2
Capim-pé-de-galinha	<i>Eleusine indica</i>	1,6	2,0 - 2,4	2,0 – 3,2
Picão-branco	<i>Galinsoga parviflora</i>	1,6	2,0 - 2,4	2,0 – 3,2
Macela-branca	<i>Gnaphalium spicatum</i>	1,6	2,0 - 2,4	2,0 – 3,2
Capim-favorito	<i>Rhynchelytrum repens</i>	1,6	2,0 - 2,4	2,0 – 3,2
Poaia-branca	<i>Richardia brasiliensis</i>	1,6	2,0 - 2,4	2,0 – 3,2
Malva-branca	<i>Sida cordifolia</i>	1,6	2,0 - 2,4	2,0 – 3,2
Guanxuma-branca	<i>Sida glaziovii</i>	1,6	2,0 - 2,4	2,0 – 3,2
Guanxuma	<i>Sida rhombifolia</i>	1,6	2,0 - 2,4	2,0 – 3,2
Maria-pretinha	<i>Solanum americanum</i>	1,6	-	-

Fonte: MAPA (2021).

Como visto na Tabela 1, a recomendação de doses do diuron é baseada somente na textura do solo. Todavia, sabe-se que a matéria orgânica exerce alta influência na sorção deste herbicida, o que pode alterar sua capacidade de controlar as plantas daninhas.

O diuron é recomendado para o controle de amplo espectro de espécies. Biffe et al. (2007) verificaram que o diuron controlou com eficiência as espécies *Digitaria horizontalis*, *Acanthospermum hispidum*, *Amaranthus viridis*, *Sida rhombifolia*, *Sida cordifolia* e *Bidens pilosa*, em cultivo de mandioca, nas doses de 625, 750 e 900 g i.a. ha⁻¹. Os autores verificaram ainda que a mandioca apresentou intoxicação até os 30 dias após a aplicação (DAA), porém aos 45 DAA já estava sem sintomas e similar à testemunha.

O diuron foi eficiente no controle das espécies *Euphorbia heterophylla*, *Ipomoea grandifolia* e *Raphanus raphanistrum* nas doses de 1600 e 2400 g i.a. ha⁻¹ (CAMPOS et al., 2012). E, apesar de ser recomendado para uso em pré-emergência, os autores também fizeram aplicação em pós-emergência e verificaram que o diuron controlou com eficiência as espécies

Senna occidentalis, *E. heterophylla* e *I. grandifolia*, utilizando as mesmas doses aplicadas em pré-emergência.

No controle de *Digitaria insularis* resistente ao glyphosate na dose de 2000 g i.a. ha⁻¹, o diuron apresentou alta eficiência de controle desta espécie (MELO et al., 2017). Os autores verificaram que aos 80 DAA, o diuron proporcionou 100% de intoxicação e redução de 100% da matéria seca, surgindo como alternativa de controle de biótipos resistentes desta espécie.

Quando aplicado em pós-emergência, o diuron precisa de boa cobertura do alvo e adição de adjuvantes (SILVA et al., 2007b). Em estudo realizado por Shing et al. (2017), foi verificado um aumento nas taxas de controle do diuron aplicado em mistura com adjuvantes, em aplicação em pós-emergência, quando comparado com a aplicação isolada do herbicida. Foram obtidos controle das espécies *Setaria glauca*, *Chenopodium album* e *Amaranthus retroflexus*, com eficiência acima de 80% em mistura com os adjuvantes. Apenas a espécie *Echinochloa crus-galli* não foi controlada com eficiência, com e sem adjuvantes.

O diuron foi muito utilizado em mistura comercial com o paraquat na dessecação de soja ou mesmo no controle de plantas daninhas, inclusive resistentes a outros herbicidas (DALTRO et al., 2010; LAMEGO et al., 2013). A mistura diuron+paraquat (300+600 g i.a. ha⁻¹) foi eficiente no controle de *Lolium multiflorum* resistente ao glyphosate (ROMAN et al., 2004). Paula et al. (2011) verificaram que a aplicação na pré-semeadura da soja da mistura glyphosate+diuron+paraquat foi eficiente no controle de *Conyza bonariensis* resistente ao glyphosate, associado com cultivo de culturas de inverno. No entanto, com a proibição da comercialização do paraquat, essa mistura não pode mais ser utilizada.

Apesar disso, ainda hoje é utilizado em mistura com outros herbicidas. Inclusive, estudos iniciais demonstram a eficiência do diuron em misturas em tanque. Cruz e Leiderman (1978) verificaram alta eficiência de controle da mistura MSMA + diuron em plantas daninhas na cultura do algodão, em pós-emergência com jato dirigido, tanto para monocotiledôneas como para gramíneas. Em cultivo de algodão, as misturas de flumioxazin+diuron e MSMA+diuron, aplicados em pós-emergência com jato dirigido, controlaram com eficiência as espécies *Commelina benghalensis*, *Ipomoea grandifolia* e *Raphanus raphanistrum* (COSTA et al., 2002). Os autores verificaram que a mistura flumioxazin+diuron provocou uma leve intoxicação nas plantas de algodão até os 25 DAA. Contudo, as plantas se desenvolveram normalmente após esse período.

Em cultivo de soja, a mistura formulada de sulfentrazone+diuron (210 + 420 g i.a ha⁻¹) controlou de forma eficiente as espécies *U. plantaginea*, *D. ciliaries*, *R. raphanistrum* e *B. pilosa*

(GUBIANE et al., 2021). Os autores verificaram que a mistura foi seletiva à cultura, sem causar intoxicação e sem afetar o rendimento de grãos.

O diuron é também muito utilizado no controle de biótipos resistentes a outros herbicidas. A aplicação sequencial de glyphosate aos 15, 30 e 45 DAA de diuron foi eficiente no controle de *C. canadenses* e *C. bonariensis* resistentes ao glyphosate (YAMAUTI et al., 2010). Tal fato pode ser explicado provavelmente pela intoxicação causada inicialmente pelo diuron, tornando as plantas mais suscetíveis ao glyphosate. Os autores verificaram também que o uso do glyphosate posteriormente à aplicação da mistura bromacil+diuron apresentou controle moderado destas espécies. Em estudo também com *C. canadenses* e *C. bonariensis* resistentes ao glyphosate, Moreira et al. (2010) verificaram que as misturas glyphosate+diuron e glyphosate+bromacil+diuron proporcionaram controle satisfatório das espécies (acima de 80%), no estágio de 10 folhas. Já no estágio de pré-florescimento, os autores verificaram que a mistura amônio glufosinato+bromacil+diuron também proporcionou controle eficiente das espécies (acima de 90%).

Como exposto nas literaturas citadas acima, a eficiência do diuron no controle de plantas daninhas depende de diversos fatores, como espécie, o modo de aplicação (pré ou pós-emergência), se aplicado em mistura ou isolado. Além do mais, a sorção do diuron pode variar de acordo com o tipo de solo (ROCHA et al., 2013). Logo, conhecer as interações do diuron com os atributos do solo é fundamental no momento de recomendação de doses deste herbicida. Diante do exposto, esta pesquisa teve por objetivo avaliar a eficiência no controle de plantas daninhas do diuron e a correlação entre atributos do solo, sorção e doses do diuron a serem recomendadas para diferentes solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Materiais de dois solos foram coletados no município de Viçosa, um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e um Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), ambos sem histórico de uso de herbicidas, na camada de 0-20 cm do solo. O critério para a escolha destes solos foi sua ampla distribuição e utilização na agricultura brasileira, sendo de grande importância econômica. Os materiais foram encubados com esterco bovino, curtido e peneirado, a fim de se obter diferentes teores de matéria orgânica (MO). O período de incubação foi de 30 dias. As proporções utilizadas foram: solo:esterco (v:v): 1:0, 0,75:0,25 e 0,6:0,4, para os dois solos. Após isso, os materiais foram secos ao ar e desintegrados com peneira com malha de 4 mm. Posteriormente, foram submetidos a análise físico-química de solo (Tabela 2). Os tratamentos foram constituídos então por LVA e PVA com 3 teores de esterco.

Tabela 2 - Atributos físico-químicos dos solos utilizados nos experimentos.

Solos	Tratamento	Solo:Esterco	MO	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	T	V	A. grossa	A. fina	Silte	Argila
		(v:v)	dag Kg ⁻¹	H ₂ O	----mg dm ⁻³ ----	-----cmol _c dm ⁻³ -----	%	-----Kg Kg ⁻¹ -----							
LVA	LVA1	1:0	0,66	4,88	1,0	4	0,27	0,06	2,3	2,64	12,9	0,109	0,148	0,032	0,710
	LVA2	0,75:0,25	4,08	6,43	47,5	783	4,15	2,15	1,1	9,41	88,3	0,178	0,153	0,025	0,643
	LVA3	0,6:0,4	5,27	6,84	87,6	1.228	5,70	3,08	0,5	12,43	96,0	0,186	0,136	0,127	0,551
PVA	PVA1	1:0	1,71	5,51	1,7	103	1,95	0,59	2,9	5,70	49,1	0,280	0,171	0,164	0,485
	PVA2	0,75:0,25	4,08	6,41	62,4	930	4,74	2,46	1,8	11,38	84,2	0,276	0,182	0,077	0,464
	PVA3	0,6:0,4	5,53	6,75	113,7	1.308	6,02	3,30	1,1	13,77	92,0	0,278	0,154	0,077	0,490

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.

O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal de Viçosa. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6 x 7 x 2, correspondendo aos seis materiais de solos, sete doses do herbicida e duas espécies de plantas daninhas, com quatro repetições. As doses do diuron foram definidas em ensaio preliminar para cada um dos solos em estudo. O critério utilizado para a escolha das doses foi a partir dos resultados obtidos no ensaio preliminar, as quais, para este experimento, foram iguais para todos os solos (Tabela 3).

Tabela 3 - Doses de diuron aplicadas nos materiais de solo.

Doses (g i.a. ha ⁻¹)						
1	2	3	4	5	6	7
0	120	240	600	1200	1800	2400

As unidades experimentais foram constituídas por vasos com capacidade de 0,25 L, preenchidos com as respectivas amostras de solo, com massa uniformizada para cada vaso. As espécies utilizadas neste experimento foram o capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) e caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*), espécies as quais o diuron possui recomendação em bula (Tabela 1). Foram semeadas cerca de 30 sementes de cada espécie nas unidades experimentais. Logo após o semeio, foi feita a aplicação do diuron na superfície dos solos. Foi utilizado um pulverizador pressurizado a CO₂, equipado com duas pontas TTI 11002, espaçados de 0,50 m, mantidos à pressão de 200 KPa e volume de calda de 170 L ha⁻¹.

Aos 7, 14 e 21 dias após a emergência (DAE) das plantas daninhas foi avaliado o índice de intoxicação de planta, por meio de avaliações visuais, atribuindo-se notas de 0 (ausência de intoxicação) a 100 (morte da planta), de acordo com escala da EWRC (1964) modificada. Aos 21 DAE as plantas foram seccionadas rente ao solo e acondicionadas em sacos de papel, sendo estes posteriormente levados a estufa de circulação forçada de ar (70 ± 2 °C), até atingir massa constante. Em seguida, foi determinada a matéria seca da parte aérea das plantas em balança de precisão analítica (0,001 g). Os valores de intoxicação e matéria seca da parte aérea foram expressos em porcentagem em relação ao tratamento controle (sem aplicação do herbicida).

Estabeleceu-se previamente que um controle de 80% das plantas daninhas é considerado satisfatório do ponto de vista agrônomo. Para calcular a C₈₀ (dose necessária para causar 80% de intoxicação de planta ou 80% da redução de MSPA), os resultados foram comparados ao tratamento controle (sem herbicida), no qual foi feita análise estatística, onde optou-se pela inversão do modelo log-logístico não-linear, deixando-o em função de y (Equação 1), como

proposto por Carvalho et al. (2005). Tal procedimento permite corrigir possíveis distorções do modelo, proporcionando valores mais próximos dos reais (OLIVEIRA JR et al., 2011). Foi utilizado o programa Sigmaplot[®] para análise dos dados e geração dos gráficos.

Equação 1 - Modelo log-logístico não-linear modificado em função de y.

$$X = f(y) = C * \sqrt[a]{\frac{b}{y - a} - 1}$$

Fonte: Carvalho et al. (2005).

Foi realizada análise do coeficiente de correlação de Pearson para medir o grau de correlação entre a C_{80} com os parâmetros de um experimento já conduzido de sorção (C_{50} e RS) e os atributos físico-químicos das amostras de solo. Para verificar se os coeficientes de correlação foram significativos, foi realizado teste t de Student ($p < 0.05$). A análise de correlação e o teste t de Student foram realizados com programa estatístico R[®], versão 4.0.2 (R CORE TEAM, 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A intoxicação de planta e o acúmulo de MSPA de *E. indica* e *A. hybridus* estão representados nas Figuras 1 e 2, respectivamente. As doses crescentes do diuron aumentaram a intoxicação das plantas e diminuíram o acúmulo de MSPA de *E. indica* e *A. hybridus*, nas épocas avaliadas (Figuras 3 e 4). A amostra do dolo PVA1 semeada com *A. hybridus* foi descartada, em razão do ataque de patógenos em seu tratamento controle, inviabilizando a comparação com os tratamentos com herbicida para obter o índice de intoxicação de planta e o acúmulo de MSPA.

Figura 1 - Intoxicação de plantas e acúmulo de MSPA em plantas de *E. indica* nos diferentes materiais de solo tratados com doses crescentes de diuron. Avaliações realizadas aos 7, 14 e 21 DAE.

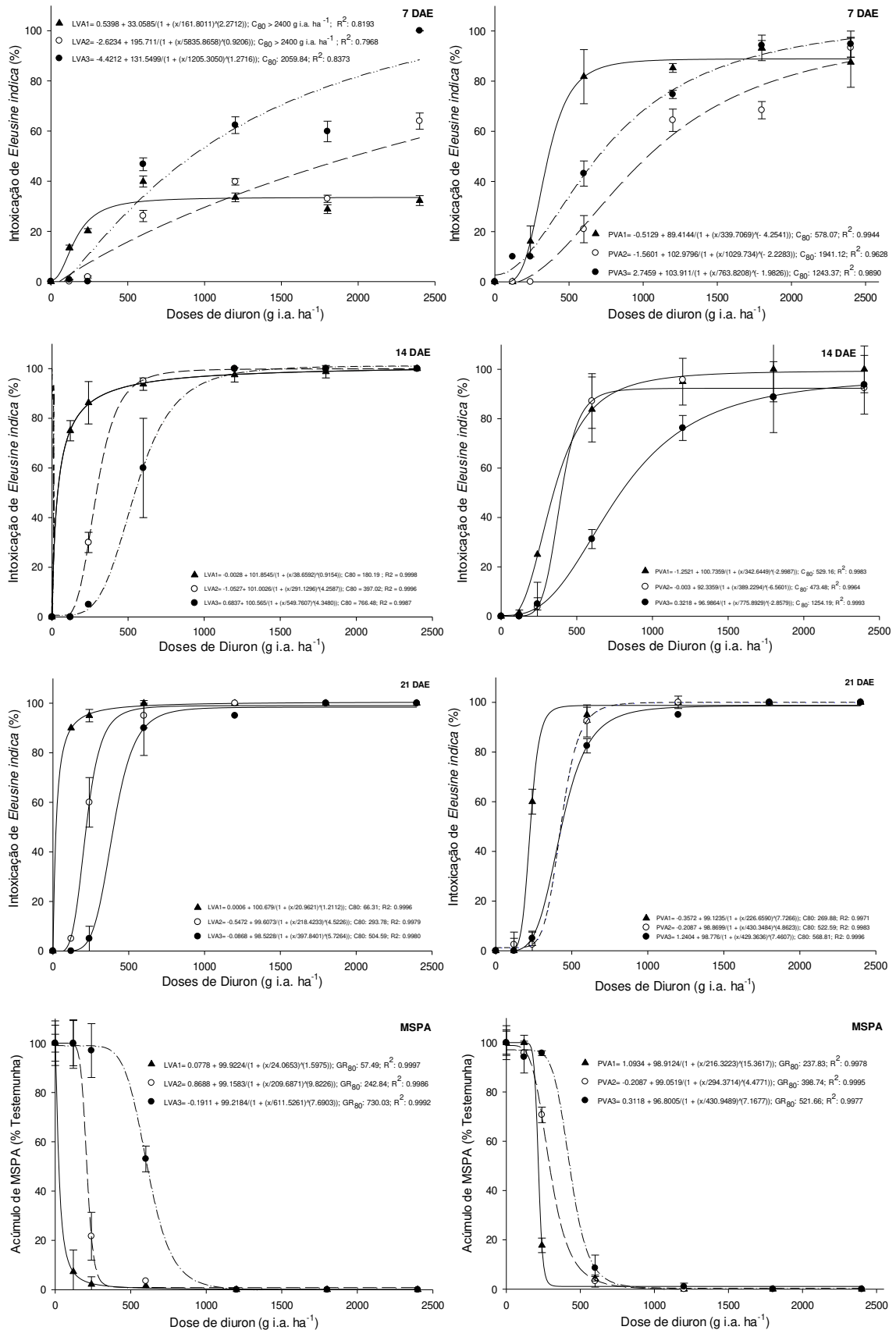
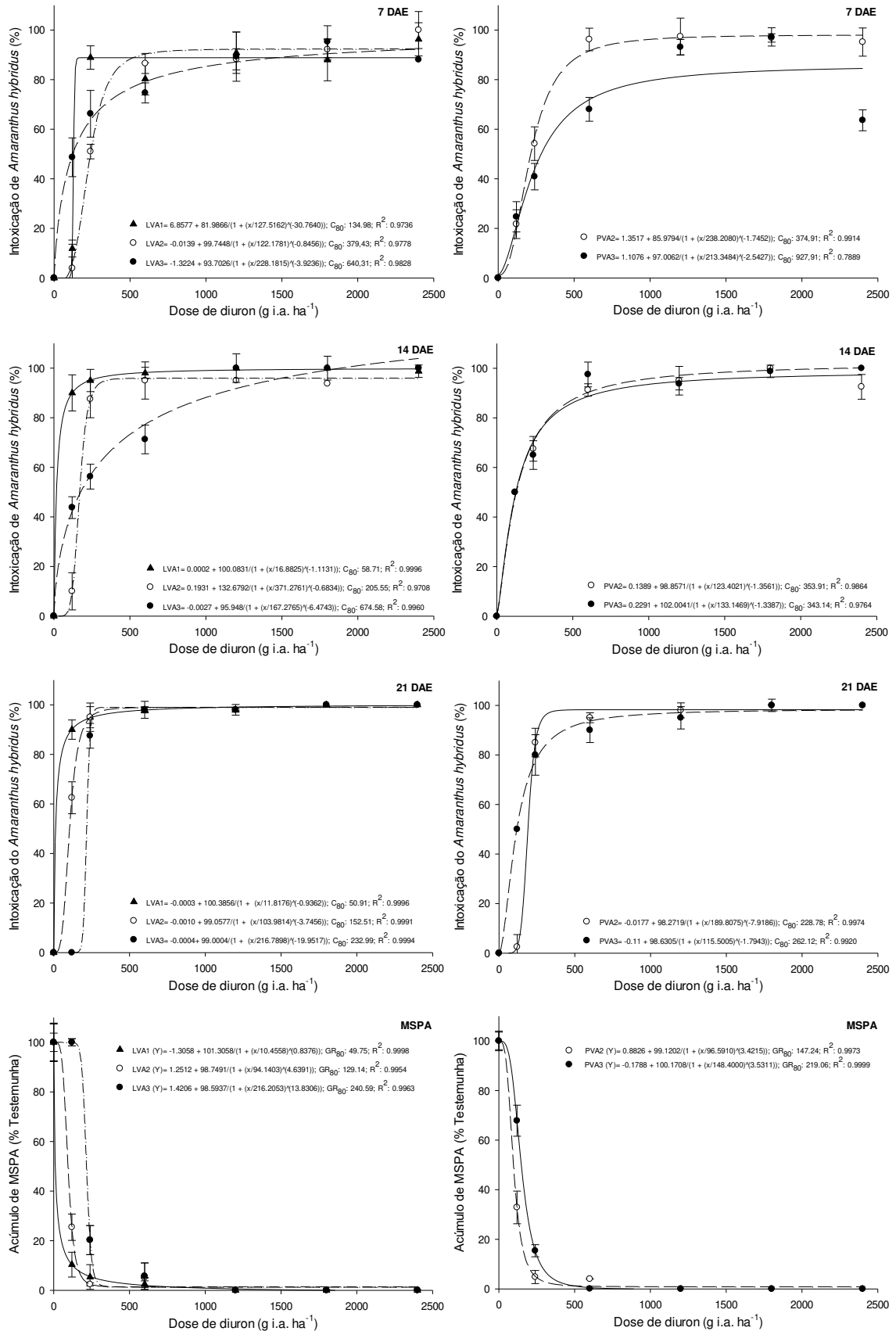


Figura 2 - Intoxicação de plantas e acúmulo de MSPA em plantas de *A. hybridus* nos diferentes materiais de solo tratados com doses crescentes de diuron. Avaliações realizadas aos 7, 14 e 21 DAE.



Com os dados de intoxicação e acúmulo de MSPA, pôde-se determinar a C_{80} do diuron, dose necessária para controlar com 80% de eficiência *E. indica* e *A. hybridus* (80% de intoxicação de planta ou 80% de redução de MSPA). Com os valores de C_{80} , pôde-se determinar as doses comerciais necessárias para o controle de *A. hybridus* e *E. indica*. A marca comercial utilizada apresenta formulação de 500 g i.a. L^{-1} . A Tabela 4 apresenta as C_{80} e as doses comerciais definidas.

Tabela 4 - C_{80} do diuron nas espécies *E. indica* e *A. hybridus* e suas respectivas doses comerciais recomendadas nos diferentes materiais de solo.

Espécie	Substrato	C_{80} (Intoxicação)	Dose comercial (mL p.c. ha^{-1})	C_{80} (MSPA)	Dose comercial (mL p.c. ha^{-1})
<i>Amaranthus hybridus</i>	LVA1	50.91	101.82	49.75	99.5
	LVA2	152.51	305.02	129.14	258.28
	LVA3	232.99	465.98	240.59	481.18
	PVA2	228.78	457.56	147.24	294.48
	PVA3	262.12	524.24	219.06	438.12
<i>Eleusine indica</i>	LVA1	66.31	132.62	57.49	114.98
	LVA2	293.78	587.56	242.84	485.68
	LVA3	504.59	1009.18	730.03	1460.06
	PVA1	269.88	539.76	237.83	475.66
	PVA2	522.59	1045.18	398.74	797.48
	PVA3	568.81	1137.62	521.66	1043.32

p.c. = Produto comercial.

Observou-se que as doses necessárias para causar 80% de intoxicação nas plantas de *A. hybridus* variaram de 50,91 a 262,12 g i.a. ha^{-1} , correspondendo a uma variação de 414.87% nos diferentes materiais de solo. Já as doses necessárias para causar 80% de redução de MSPA de *A. hybridus* variaram de 49,75 a 219,06 g i.a. ha^{-1} , correspondendo a uma variação de 340.32%. Enquanto que as doses necessárias para causar 80% de intoxicação nas plantas de *E. indica* variaram de 66,31 a 568,31 g i.a. ha^{-1} , o que representa uma variação de 757.05%. Por outro lado, as doses necessárias para causar 80% de redução de MSPA de *E. indica* variaram de 57,49 a 521,66 g i.a. ha^{-1} , apresentando variação de 807.39%. Desta forma, nota-se que *A. hybridus* apresentou sensibilidade maior que *E. indica* nas condições deste experimento.

Em trabalho realizado em Maringá – PR, em solo com 1,9% de MO e 20% de argila, foi obtido um controle de 95% de eficiência de *A. hybridus* na dose de 268 g i.a. ha^{-1} de diuron (RAIMONDI et al., 2010). Cavalcante et al. (2018), utilizando um Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa, verificaram que a dose de 96 g i.a. ha^{-1} de diuron foi o suficiente para controlar com 90% de eficiência algumas espécies de plantas daninhas, entre elas *E. indica*, em pré-transplante de tomate. Os autores também verificaram que o diuron

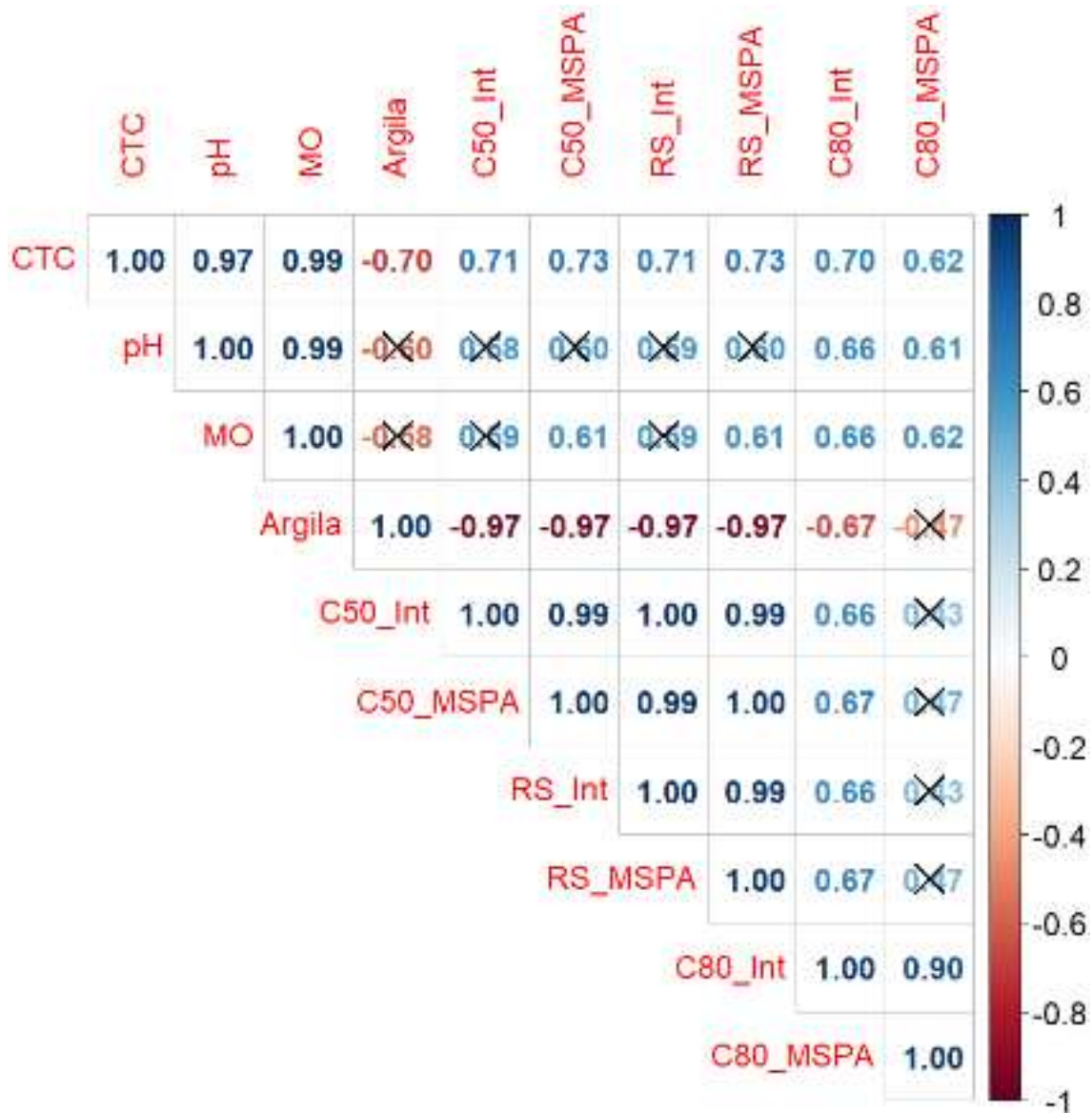
apresentou 100% de eficiência de controle quando associado com coberturas vegetais, apesar de ter causado severa intoxicação ao tomate.

Diferentes doses do diuron são eficientes também no controle de outras espécies de plantas daninhas. Em estudo realizado por Oliveira Junior et al. (2011) no controle de *Euphorbia heterophylla*, os autores verificaram uma C_{80} que variou de 389 a 455 g i.a. ha⁻¹ de diuron em Argissolo Vermelho-Distrófico. Utilizando diferentes doses do diuron para avaliar a suscetibilidade de diferentes populações de capim-colchão (*Digitaria horizontalis*), Lucio et al. (2016) verificaram que a C_{80} variou entre 710 e 960 g i.a ha⁻¹ em Latossolo Vermelho Distrófico. Muito utilizado em misturas com outros herbicidas, o diuron, em tratamento contendo também hexazinone e MSMA, controlou com eficiência *Urochloa brizantha* com 50% da dose recomendada (TIRONI et al., 2012).

Em estudo para avaliar o controle de *Amaranthus palmeri* resistente aos herbicidas inibidores das enzimas ALS e EPSPS, a dose de 375 g i.a. ha⁻¹ do diuron proporcionou controle satisfatório (acima de 80%), em solo argiloso e arenoso, surgindo como alternativa de manejo a biótipos resistentes dessa espécie (GONÇALVES NETTO et al., 2018). No entanto, os autores verificaram que no solo arenoso o controle foi satisfatório até os 30 dias após a aplicação (DAA), enquanto que no solo argiloso o controle foi satisfatório até os 60 DAA. Tal fato pode ser explicado pela maior sorção do diuron no solo argiloso, persistindo por mais tempo na camada superficial, onde pode ser absorvido pelas plantas.

A matriz de correlação indica que houve correlação significativa dos atributos do solo com os parâmetros de sorção e com a eficiência de controle do diuron (Figura 3).

Figura 3. Matriz de correlação linear entre CTC, pH, MO, teor de argila (Argila), C₅₀ da intoxicação de planta (C₅₀_Int), C₅₀ da MSPA (C₅₀_MSPA), razão de sorção da intoxicação de planta (RS_Int), razão de sorção da MSPA (RS_MSPA), C₈₀ da intoxicação (C₈₀_Int) e C₈₀ da MSPA (C₈₀_MSPA) do diuron. X = p-valor <0,05.



Houve correlação significativa da MO com alguns parâmetros encontrados nos ensaios de sorção e eficiência de controle. Os valores de correlação observados foram para C₅₀_MSPA (0.61), RS_MSPA (0.61), C₈₀_Int (0.66) e C₈₀_MSPA (0.62). Tais parâmetros apresentaram correlação positiva com a MO. Ou seja, quanto maior os teores de MO, maior foi a sorção do diuron e maiores foram as doses necessárias para controlar as plantas daninhas. Houve também correlação significativa entre a CTC das amostras de solo com parâmetros encontrados nos ensaios de sorção e eficiência de controle. Os valores de correlação observados foram para C₅₀_Int (0.71), C₅₀_MSPA (0.73), RS_Int (0.71), RS_MSPA (0.73), C₈₀_Int (0.70) e C₈₀_MSPA (0.62). Assim como para MO, os parâmetros apresentaram correlação positiva com

a CTC. Logo, quanto maior foi a CTC dos substratos, maior foi a sorção do diuron e maiores foram as doses necessárias para controlar as plantas daninhas. Tais resultados podem ser explicados pela alta correlação encontrada entre a CTC e a MO dos substratos (0.99). Na maioria dos solos brasileiros, a MO é responsável por até 80% das cargas negativas do solo, o que explica o fato da CTC geralmente estar altamente correlacionada com a MO (OLIVEIRA JR, 1998; TEIXEIRA et al., 2009). Como observado na Tabela 2, conforme aumentaram-se as concentrações de esterco, aumentaram-se os teores de MO. Sendo assim, aumentaram-se também os teores de CTC.

Houve correlação significativa do teor de argila com C50_Int (-0.97), C50_MSPA (-0.97), RS_Int (-0.97), RS_MSPA (-0.97) e C80_Int (-0.67). Os parâmetros apresentaram correlação negativa com o teor de argila. Logo, quanto maior foi o teor de argila, menor foi a sorção do diuron e menores foram as doses necessárias para controlar as plantas daninhas nas amostras de solos utilizadas neste trabalho. De maneira geral, a sorção do diuron é mais relacionada com o teor de MO em relação ao teor de argila. Contudo, a argila também apresenta influência na capacidade sortiva do diuron nos solos (ARSEGO, 2009; ROCHA et al., 2013; CHAGAS, 2017). Vale ressaltar, no entanto, que solos com altos teores de MO não necessariamente irão apresentar baixos teores de argila, condições estas encontradas nos materiais de solo utilizados neste trabalho.

Houve correlação significativa entre a C80_Int com C50_Int (0.66), C50_MSPA (0.67), RS_Int (0.66) e RS_MSPA (0.67). Os parâmetros de sorção se correlacionaram positivamente com a C80_Int, evidenciando a influência da sorção, e, conseqüentemente, dos atributos físico-químicos do solo (principalmente MO e CTC), na eficiência agrônômica do diuron no controle de plantas daninhas.

Na literatura, não foram encontrados trabalhos que relacionam os atributos do solo ou coeficientes de sorção com a eficiência de controle do diuron. No entanto, resultados similares foram encontrados para outros herbicidas recomendados para uso em pré-emergência. Avaliando a influência das propriedades do solo na eficácia de pendimethalin e chlorotoluron, Nordmeyer (2015) verificou, em experimento com bioensaios estimando curvas de dose-resposta, uma correlação positiva entre o teor de MO e a eficiência agrônômica dos herbicidas. O autor conclui que as diferenças nos teores de MO em uma mesma área devem ser levados em consideração no momento de recomendação e aplicação das doses, a fim de reduzir a exposição dos herbicidas no ambiente, obter maior eficiência de controle das plantas daninhas e reduzir os custos de aplicação.

Avaliando a eficiência do indaziflam no controle de plantas daninhas, Amim et al. (2014) verificaram que foram necessárias maiores doses desse herbicida para controlar capim-camalote (*Rottboellia cochinchinensis*), leiteiro (*E. heterophylla*) e corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*) em Gleissolo Háplico em relação ao Neossolo Fúlvico e Argissolo Amarelo. Os autores concluíram que, por possuir maior teor de MO e Argila, o Gleissolo Háplico apresentou elevada sorção do indaziflam, ficando menos disponível na solução do solo. Logo, doses maiores são necessárias para que o herbicida ocupe os sítios de adsorção e ainda esteja disponível para ser absorvido pelas plantas.

Em estudo com aplicação de herbicidas em taxa variável (ATV), Rashidi e Mohammadzamani (2011) realizaram aplicações de diferentes doses de cyanazine, de acordo com as características dos solos observadas em mapas gerados. Os autores verificaram que nos solos com maiores teores de MO e argila, foram necessárias doses maiores do herbicida para controlar a comunidade infestante. Apesar disso, com a tecnologia de ATV, houve economia de aplicação de 13% em comparação com aplicação em área total.

Em estudo avaliando a relação entre variabilidade espacial da sorção-dessorção e eficiência agrônômica de herbicidas recomendados para uso em pré-emergência em solos, Lima (2020) verificou uma alta correlação da MO com o coeficiente de sorção do metribuzin (0.75) e do indaziflam (0.81). Apesar de serem herbicidas ionizáveis, ou seja, se dissociam na solução do solo e são influenciados pelo pH do meio (SILVA et al., 2007b), houve maior variação dos teores de MO e estabilidade do pH nas amostras, fazendo com que a MO influenciasse mais na sorção de ambos. Em decorrência deste fato, o autor verificou que a C_{80} de ambos os herbicidas foram diretamente proporcionais aos teores de MO, tendo uma variação de 16,63% entre a menor e a maior dose de metribuzin e uma variação de 67,14% entre a menor e a maior dose de indaziflam.

As amostras de solo utilizadas neste estudo apresentaram valores bem contrastantes de alguns atributos do solo, como CTC, teor de argila e MO. Nota-se que as doses de diuron que proporcionaram um controle eficiente das plantas daninhas foram menores que as recomendadas em bula deste herbicida, nas condições avaliadas. Estudos em ambientes semi-controlados tendem a promover maiores intoxicações nas plantas quando comparados com estudos em campo, porém fornecem estimativas confiáveis da ação do herbicida no ambiente (SIMÕES et al., 2016).

Com os resultados obtidos neste experimento, pôde-se observar que os parâmetros CTC e MO foram os mais influentes na RS, influenciando também na eficiência de controle do diuron para *E. indica* e *A. hybridus*, e, conseqüentemente, na definição de doses. Entretanto, a

recomendação de doses de aplicação deste herbicida, em bula, leva em consideração somente a textura do solo. E, embasados pela literatura citada, tanto para o diuron, quanto para outros herbicidas, pode-se afirmar que tal recomendação está defasada e não leva em consideração a imensa variabilidade de solos encontrados no Brasil. Portanto, este trabalho explana dados de importante relevância na recomendação de doses seguras de diuron, utilizando metodologia de fácil execução e baixo custo. Contudo, apesar de positiva e significativa, a correlação foi considerada moderada. Logo, os atributos do solo e parâmetros da sorção não permitem determinar com eficiência as doses de diuron a serem recomendadas. Complementarmente, são necessários mais estudos de eficiência de controle do diuron, em campo, com maior número de amostras e com maior espectro de plantas daninhas, para se obter parâmetros mais confiáveis do ponto de vista estatístico.

CONCLUSÕES

Neste estudo, o diuron foi eficiente no controle de *Amaranthus hybridus* e *Eleusine indica* em doses menores que as recomendadas em bula.

A C_{80} do diuron para *Amaranthus hybridus* variou de 50,91 a 262,12 (intoxicação) e 49,75 a 219,06 (MSPA) g i.a. ha^{-1} . As doses comerciais definidas variaram de 101,82 a 524,24 (intoxicação) e 99,5 a 438,12 (MSPA) ml p.c. ha^{-1} .

A C_{80} do diuron para *Eleusine indica* variou de 66,31 a 568,81 (intoxicação) e 57,49 a 521,66 (MSPA) g i.a. ha^{-1} . As doses comerciais definidas variaram de 132,62 a 1137,62 (intoxicação) e 114,98 a 1043,32 (MSPA) ml p.c. ha^{-1} .

A eficiência de controle do diuron apresentou correlação significativa positiva com a razão de sorção e os teores de matéria orgânica e CTC nas amostras de solo estudadas.

Em solos com diferentes teores de matéria orgânica, as doses de diuron devem ser diferenciadas.

Os atributos do solo e parâmetros da sorção não permitem determinar com eficiência as doses de diuron a serem recomendadas, nas condições deste experimento.

LITERATURA CITADA

AMIM, R. T.; FREITAS, S. P.; FREITAS, I. D. J.; GRAVINA, G. A.; PAES, H. M. F. Controle de plantas daninhas pelo indaziflam em solos com diferentes características físico-químicas. **Planta Daninha**, v. 32, p. 791-800, 2014.

ANVISA. **Agência nacional de vigilância sanitária**. Índice monográfico – diuron. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/agrotoxicos/monografias/monografias-autorizadas/d/4283json-file-1>. Acesso em: 06/02/2020.

ARSEGO, I. T. **Sorção dos herbicidas diuron e hexazinone em solos de texturas contrastantes**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2009.

BIFFE, D. F.; ALONSO, D. G.; OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; FRANCHINI, L. H. M. Avaliação do herbicida diuron em pré-emergência no controle de seis plantas daninhas na cultura de *Manihot esculenta*. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 3, 2007.

CAMPOS, C. F.; VITORINO, H. S.; MARTINS, D. Controle de plantas daninhas com diuron em diferentes condições de luz. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 11, n. 3, p. 258-268, 2012.

CARVALHO, S. J. P. et al. Curvas de dose-resposta para avaliação do controle de fluxos de emergência de plantas daninhas pelo herbicida imazapic. **Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 535-542, 2005.

CAVALCANTE, J. K. G.; MENDES, K. F.; INOUE, M. H.; SANTOS, P. R. J.; SILVA FONSECA, A. P.; FRANCO, E. L. P. Eficácia e seletividade do metribuzin e diuron em pré-transplântio do tomate sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 4, p. 615-1-12), 2018.

CHAGAS, P. S. F. **Influência dos atributos do solo nos processos de retenção do herbicida diuron**. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Tecnologia e Sociedade) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, 2017.

COSTA, E. A.; MACEDO, E. D. C.; ROZANSKI, A.; MATALLO, M. B. Eficácia do herbicida flumioxazin aplicado isoladamente e em mistura com diuron ou diclosulam, e diferentes adjuvantes, em algodão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 3, n. 1, p. 23-28, 2002.

CRUZ, L. S. P.; LEIDERMAN, L. Aplicação de misturas de diuron com MSMA, e com paraquat, no controle de plantas daninhas de folhas largas em cultura de algodão (*Gossypium hirsutum* L.). **Planta Daninha**, v. 1, p. 45-50, 1978.

DALTRO, E. M. F.; ALBUQUERQUE, M. C. D. F.; FRANÇA NETO, J. D. B.; GUIMARÃES, S. C.; GAZZIERO, D. L. P.; HENNING, A. A. Aplicação de dessecantes em pré-colheita: efeito na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 1, p. 111-122, 2010.

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.

GONÇALVES NETTO, A.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S.; MALARDO, M.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; CHRISTOFFOLETI, P. Controle de *Amaranthus palmeri* Resistente a Inibidores da ALS e EPSPS por Herbicidas Alternativos Aplicados em Pré e Pós-Emergência. **Planta Daninha**, v. 37, 2019.

GUBIANI, J. E.; POLITO, R. A.; RIBAS, J. L.; BAGNARA, F.; HAHN, A. M.; CINELLI, R. Seletividade e controle de plantas daninhas da mistura formulada de sulfentrazone+ diuron na cultura da soja. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 63320-63333, 2021.

LAMEGO, F. P.; KASPARY, T. E.; RUCHEL, Q.; GALLON, M.; BASSO, C. J.; SANTI, A. L. Manejo de *Conyza bonariensis* resistente ao glyphosate: coberturas de inverno e herbicidas em pré-semeadura da soja. **Planta daninha**, v. 31, n. 2, p. 433-442, 2013.

LIMA, A. C. **Mapeamento da variabilidade espacial da sorção-dessorção e eficiência agrônômica do indaziflam e metribuzin em solos para o manejo de precisão de plantas daninhas**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2021.

LUCIO, F.; BARROSO, A.; TOLEDO, R.; PITELLI, R.; VICTORIA FILHO, R. Suscetibilidade entre Populações de Capim-Colchão a Herbicidas Inibidores do Fotossistema II. **Planta Daninha**, v. 36, 2018.

MAPA. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. **Agrofit - Sistemas de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em 05 de agosto de 2021.

MELO, M. S. C.; ROCHA, L. J. F. N.; BRUNHARO, C. A. D. C. G.; SILVA, D. C. P.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Alternativas de controle químico do capim-amargoso resistente ao glyphosate, com herbicidas registrados para as culturas de milho e algodão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 3, p. 206-215, 2017.

MOREIRA, M. S.; MELO, M. S. C.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Herbicidas alternativos para controle de biótipos de *Conyza bonariensis* e *C. canadensis* resistentes ao glyphosate. **Planta daninha**, v. 28, p. 167-175, 2010.

NORDMEYER, H. Herbicide application in precision farming based on soil organic matter. **American Journal of Experimental Agriculture**. v. 8, n. 3, p. 144-151, 2015.

OLIVEIRA JR, R. S. **Relação entre propriedades químicas e físicas do solo e sorção, dessorção e potencial de lixiviação de herbicidas**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

OLIVEIRA JR, R. S.; CARNEIRO, J. C.; CONSTANTIN, J.; SANTOS, G.; MARTINI, P. E.; FRANCISCHINI, A. C.; OSIPE, J. B. Aplicações isoladas ou associadas de diuron, oxyfluorfen e prometryne para o controle de *Euphorbia heterophylla*. **Planta Daninha**, v. 29, p. 635-643, 2011.

PAULA, J. D.; VARGAS, L.; AGOSTINETTO, D.; NOHATTO, M. A. Manejo de *Conyza bonariensis* resistente ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v. 29, n. 1, p. 217-227, 2011.

R Foundation for Statistical Computing. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**, version 3.6.0; R Core Team: Vienna, Austria, 2021. Disponível em: <<https://rstudio.com/>>. Acesso em: 09 de março de 2021.

RAIMONDI, M. A.; OLIVEIRA, J. R.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D. F.; ARANTES, J. G. Z. D.; FRANCHINI, L. H.; RIOS, F. A.; BLAINSKI, E.; OSIPE, J. B. Atividade residual de herbicidas aplicados ao solo em relação ao controle de quatro espécies de *Amaranthus*. **Planta Daninha**, v. 28, p. 1073-1085, 2010.

RASHIDI, M.; MOHAMMADZAMANI, D. Variable rate herbicide application using gps and generating a digital management map. In: LARRAMENDY e SOLONESKI (eds.). **Herbicides: Theory and Applications**. London, UK: Intechopen, p. 127-144, 2011.

ROCHA, P. R. R.; FARIA, A. T.; BORGES, L. G. F. C.; SILVA, L. O. C.; SILVA, A. A.; FERREIRA, E. A. Sorção e desorção do Diuron em quatro latossolos brasileiros. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 231-238, 2013.

ROMAN, E. S.; VARGAS, L.; RIZZARDI, M. A.; MATTEI, R. W. Resistência de azevém (*Lolium multiflorum*) ao herbicida glyphosate. **Planta daninha**, v. 22, p. 301-306, 2004.

SINGH, Megh; TAN, Siyun; SHARMA, Shiv D. Adjuvants enhance weed control efficacy of foliar-applied diuron. **Weed Technology**, v. 16, n. 1, p. 74-78, 2002.

SILVA, A. A., VIVIAN, R.; OLIVEIRA JUNIOR, R. B. Herbicidas: Comportamento no Solo. In: SILVA A. A., SILVA J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, p. 155-209, 2007a.

SILVA, A. A., FERREIRA, F. A., FERREIRA, L. R. Herbicidas: Classificação e mecanismos de ação. In: SILVA A. A., SILVA J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, p. 58-117, 2007b.

SIMÕES, P. S.; CARBONARI, C. A.; NASCENTES, R. F.; STASIEVSKI, A.; VELINI, E. D. Selectivity of herbicides inhibitors of photosystem II for sugarcane cultivars. **Planta Daninha**, v. 34, n. 4, p. 803-814, 2016.

TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. 20p.

TIRONI, S. P.; GALON, L.; FARIA, A. T.; BELO, A. F.; SILVA, A. A.; BARBOSA, M. H. P. Eficiência de subdoses de herbicidas no controle de *Brachiaria brizantha* em cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 30, p. 791-798, 2012.

VARGAS, L.; BIANCHI, M. A.; RIZZARDI, M. A.; AGOSTINETTO, D.; DAL MAGRO, T. Buva (*Conyza bonariensis*) resistente ao glyphosate na região sul do Brasil. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 573-578, 2007.

YAMAUTI, M. S.; BARROSO, A. A. M.; SOUZA, M. C. Controle químico de biótipos de buva (*Conyza canadensis* e *Conyza bonariensis*) resistentes ao glyphosate. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 495-500, 2010.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho comprovou a importância de se conhecer as interações do diuron com os atributos dos solos, para promover recomendações seguras deste herbicida do ponto de vista agrônomo e ambiental. Os dados obtidos nesta pesquisa permitem entender possíveis insucessos da aplicação do diuron, tanto no controle de plantas daninhas, como na intoxicação de culturas e contaminação do perfil do solo e de corpos de águas subterrâneas.

Nessa dissertação foram realizados experimentos de sorção, lixiviação e eficiência de controle do diuron pelo método biológico. Tal método foi eficiente na estimativa dos parâmetros avaliados. A adição de esterco aumentou a concentração de matéria orgânica no Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo. Comprovou-se que o diuron é muito sorvido pelos colóides do solo, especialmente pela matéria orgânica. O diuron não apresentou potencial de lixiviação neste estudo, indicando que há pouco risco de contaminação ambiental, quando é aplicado em solos com baixos teores de matéria orgânica. No entanto, em solos com altos teores de matéria orgânica, maiores foram as doses do diuron necessárias para se obter controle satisfatório das plantas daninhas, devendo-se levar em consideração este atributo no momento da recomendação de aplicação deste herbicida.

Por fim, a análise de correlação demonstrou que os atributos do solo CTC e matéria orgânica influenciam na eficiência do diuron no controle de plantas daninhas. Contudo, não podem ser considerados fatores determinantes na definição de doses, devido aos resultados terem sido considerados moderados. Diante disso, é importante a continuidade desta pesquisa com um número maior de amostras, o que talvez possa permitir aumentar a correlação dos atributos do solo com a eficiência de controle do diuron, visando auxiliar os profissionais na recomendação de doses seguras deste herbicida a partir de análises físico-químicas do solo.