

MOBILIDADE DO HERBICIDA IMAZAQUIN EM DIFERENTES SOLOS¹

FLAVIA FLORIDO², ANA CAROLINA RIBEIRO DIAS³, PATRICIA ANDREA MONQUERO^{4*},
VALDEMAR TORNISIELO⁵

RESUMO - O imazaquin é um herbicida utilizado intensivamente no Brasil para controlar plantas daninhas associadas principalmente a cultura da soja. O presente trabalho teve como objetivos estudar a mobilidade e a lixiviação do imazaquin em solos com diferentes características. Em ambos os experimentos o delineamento estatístico foi inteiramente casualizado com três repetições. Estudou-se a mobilidade do imazaquin em Latossolo Vermelho Eutrófico (textura muito argilosa), Nitossolo Háplico Eutrófico (textura média argilosa), Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico (textura média argilosa) e Neossolo Quartzarênico Órtico (textura arenosa). Para a obtenção do coeficiente de mobilidade (R_f) uma solução de ¹⁴C-imazaquin com atividade de 304,75 Bq/μL foi aplicado em placas contendo os diferentes solos. Todos os valores de R_f variaram entre 0,803 e 1, indicando que o herbicida possui alta mobilidade para todos os solos. No estudo de lixiviação foram utilizados os solos classificados como Latossolos Vermelhos e que diferiam quimicamente. O herbicida imazaquin (¹⁴C Imazaquin + produto técnico) foi aplicado na dose recomendada (161 g i.a ha⁻¹), diretamente sobre a superfície das amostras de solo que foram previamente empacotadas em colunas. Posteriormente, foi feita simulação de chuva de 200 mm. A maior parte de radioatividade do imazaquin foi retida nas camadas de 0 a 10 cm nos dois solos LVe, sendo que no solo com maior pH uma pequena % de radioatividade foi notada até a camada de 15-20 cm. O herbicida imazaquin tem maior mobilidade em solos com baixo teor de matéria orgânica e de argila e em solos com alto pH.

Palavras chave: Lixiviação. Imidazolinonas. Herbicidas ácidos. Dessorção.

MOBILITY OF IMAZAQUIN HERBICIDE IN DIFFERENT SOILS TYPES

ABSTRACT - Imazaquin is an herbicide widely used in Brazil to control weeds associated with the soybean crop. This work aimed to study the mobility and leaching of imazaquin in soils with different characteristics. In both experiments, a completely randomized block design was used; with tree replicates. We study the mobility of imazaquin in Red Eutrophic Latosol, clayey; Alfisol Haplic Eutrophic, medium texture; Alfissol Eutrophic, medium texture; and Orthic Psament, sandy texture. To obtain the mobility rate (M_r), a solution of ¹⁴C-imazaquin with the activity of 304,75 Bq/mL was applied to plates containing different soils. All M_r values range between 0.803 and 1, indicating that imazaquin has a relevant mobility in our soils. In the leaching study, the soils were classified as Rhodic and differed chemically. The herbicide imazaquin (¹⁴C + imazaquin technical product) was applied to the highest recommended dose (161 g a.i. ha⁻¹), directly on the soil surface of each column. After that, was done a rainfall simulation of 200 mm. Nearly 100% of the herbicide was in the 0-10 cm layer, however, the soil with higher pH, the herbicide was distributed to 15-20 cm depth. The herbicide imazaquin has greater mobility in soils with low organic matter and clay and soils with high Ph.

Keywords: Leaching. Imidazolinone. Acid herbicides. Desorption

*Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 15/04/2014; aceito em 24/04/2015.

²Bolsista FAPESP e aluna de Graduação do Curso de Biotecnologia do Centro de Ciências Agrárias/UFSCar. Rodovia Anhanguera, km 174, CP 153, Araras (SP); CEP: 13600-970.

³Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT. Rodovia MT 208, km 146, Jd. Tropical. CP. 324. CEP: 78.580-000. Alta Floresta - MT.

⁴Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental. Centro de Ciências Agrárias/UFSCar; pamonque@hotmail.com.

⁵Laboratório de Ecotoxicologia; Centro de Energia Nuclear na Agricultura/USP. Av. Centenário, 303, CP. 96, CEP: 13400-970, Piracicaba (SP).

INTRODUÇÃO

A lixiviação constitui um dos principais processos de dissipação dos herbicidas no solo, exercendo influência direta sobre o controle das plantas daninhas, a persistência e o risco de contaminação ambiental (FERRI, 2003). Propriedades intrínsecas dos herbicidas, dos solos e do clima influenciam a lixiviação, sendo mais suscetíveis os herbicidas com elevada solubilidade em água e fraca sorção ao solo. Esses fatores favorecem o transporte dos compostos com a água que percola o solo (CHAKKA; MUNSTER, 1997; KALITA et al., 1997). Segundo Oliveira (2001), para ser lixiviado o herbicida deve estar na solução do solo ou adsorvido a pequenas partículas, como argilas, ácido fúlvicos e húmicos de baixo peso molecular, aminoácidos, peptídeos e açúcares, entre outros.

O Imazaquin é um herbicida do grupo químico das imidazolinonas amplamente utilizado para controle de diversas plantas daninhas eudicotiledôneas e monocotiledôneas em culturas como a soja (SEIFERT et al., 2011). A absorção do herbicida ocorre através de raízes e folhas, enquanto a translocação é apossimplástica, se acumulando nos meristemas nas plantas (SHANER, 2003). Esta molécula inibe a enzima acetolactato synthase (ALS), resultando em bloqueio na síntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina (TAN et al., 2005).

O imazaquin apresenta dois grupos funcionais ionizáveis: um grupo carboxílico (ácido fraco, $pK_a = 3,8$); e um grupo quinolina (base fraca, $pK_a = 2,0$) (STOUGAARD et al., 1990). Na faixa de pH mais comum dos solos tropicais agricultáveis (5,0 a 6,5, na qual pH do solo $> pK_a$) o imazaquin se comporta predominantemente como um herbicida ácido, dissociando-se da forma de ânion orgânico (NOVO et al., 1997), e como a maioria dos solos apresenta carga elétrica líquida negativa ocorre baixa sorção do imazaquin aos seus colóides devido às forças eletrostáticas repulsivas (LOUX et al., 1989; REGITANO et al., 2000). Entretanto, a matéria orgânica pode reagir com cátions polivalentes formando quelatos ou pontes iônicas com os herbicidas ácidos. Regitano et al. (1997) observaram, para seis solos com cargas dependentes de pH e doze com cargas permanentes,

que o principal mecanismo envolvido na sorção de imazaquin foi a partição hidrofóbica. Entretanto, nos sítios do solo com carga positiva, como na superfície dos óxidos de Fe e Al, houve expressiva sorção do produto devido a mecanismos de troca aniônica e/ou formação de ligantes, principalmente em solos com baixo teor de carbono orgânico (C_{org}).

O grupo químico das imidazolinonas apresenta alta solubilidade em água e alta persistência no ambiente, com meia vida ($t_{1/2}$) variando de 16 semanas (AICHELE; PENNER, 2005) a 210 dias (VIDAL, 2002). Se por um lado uma longa meia vida pode proporcionar controle das plantas daninhas por quase todo o ciclo da cultura da soja, por outro lado pode se tornar um risco para as culturas de sucessão como milho, algodão, girassol e brássicas (DAN et al., 2011; ARTUZI; CONTIERO, 2006; SYODER et al., 2000) ou causar contaminação ambiental (BATTAGLIN et al., 2000).

Em razão da diversidade de respostas desse herbicida nos diferentes tipos de solo e da escassez de informações em ambientes tropicais objetivou-se avaliar por meio de técnicas radiométricas a mobilidade e lixiviação do imazaquin em solos com diferentes características químicas e texturais.

MATERIAL E MÉTODOS

Mobilidade de imazaquin em diferentes solos

As coletas das amostras de solo foram realizadas em áreas de produção de cana-de-açúcar na região de Piracicaba e Araras (SP) no período seco, sem o histórico de aplicação do herbicida imazaquin. As amostras foram retiradas da camada de 0 a 10 cm de profundidade, após prévia limpeza da camada vegetal que cobria o solo. Foram realizadas análises para determinar a textura e caracterização química (Tabela 1). Os solos de onde as amostras foram retiradas são classificados de acordo com EMBRAPA (1999) em: Latossolo Vermelho Eutrófico (LVe); Nitossolo Háplico Eutrófico (NXe); Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico (PVAe); e Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo).

Tabela 1. Atributos físicos e químicos dos solos utilizados no experimento.

| Amostra | pH | CaCl ₂ | MO | P | K | Ca | Mg | H + Al | SB | CTC | V% | argila | silte | areia |
|---------|------|-------------------|--------------------|---------------------|---|----|----|--------|-------|-------|-------------------------------|--------|-------|-------|
| | | | g dm ⁻³ | mg dm ⁻³ | -----mmol _c dm ⁻³ ----- | | | ----- | | % | -----g kg ⁻¹ ----- | | | |
| Lve | 5,09 | | 32 | 60 | 6,4 | 32 | 28 | 38 | 66,4 | 104,4 | 64 | 729 | 89 | 182 |
| NXe | 5,93 | | 21 | 19 | 1,4 | 78 | 60 | 9 | 139,4 | 148,3 | 94 | 302 | 116 | 582 |
| PVAe | 5,11 | | 27 | 6 | 2,2 | 23 | 14 | 23 | 39,2 | 62,6 | 63 | 327 | 112 | 561 |
| RQo | 4,96 | | 34 | 20 | 0,4 | 16 | 6 | 22 | 22,4 | 44,4 | 50 | 101 | 13 | 886 |

DMS = diferença mínima significativa.)

O delineamento estatístico foi inteiramente casualizado com três repetições, com o herbicida sendo aplicado nos diferentes solos. Para a obtenção

das placas de solo (cromatoplasas) fora preparado uma pasta semifluida de cada uma das amostras de terra, utilizando 100 g de terra e água deionizada. A

pasta obtida foi espalhada em uma camada homogênea de 0,5 a 0,75 mm sobre placas de vidro medindo 0,15 x 0,9 x 0,15 10⁻³ m. O processo foi realizado de acordo com a norma OPPTS 835.12.10 do EPA (1998).

A solução de trabalho foi preparada com o ¹⁴C-Imazaquin, marcado no grupo carboxílico (atividade específica = 0,80 MBq mg⁻¹; e pureza radioquímica > 98 %), obtendo a concentração de 304,75 Bq/μL. A fim de se confirmar a radioatividade inicialmente aplicada, três alíquotas de 1 μL foram analisadas no cintilador líquido. Com o auxílio de uma microseringa, as cromatoplasmas receberam 10 μL da solução de trabalho a 0,02 m da base das placas em um ponto único, com dois pontos para cada placa, utilizando-se três repetições (três placas) para cada tipo de solo. Em seguida, as cromatoplasmas foram colocadas na posição vertical dentro de um tanque cromatográfico contendo 100 mL de água deionizada, e retiradas quando a água alcançou a linha limite de eluição (10 cm do ponto de aplicação).

Após secar ao ar (23± 5°C), as cromatoplasmas dos solos foram reveladas em filme Super Resolution, tipo Sr por 12 horas, e analisadas em aparelho de Radioscanner Cyclone® Plus (“Storage Phosphor System”).

Os coeficientes de mobilidade (R_f) foram calculados através dos radiogramas apresentados

pelos placas usando a seguinte fórmula:

$$R_f = D_p/D_a$$

Em que: D_p= distância percorrida pelo produto; e

D_a = distância percorrida pela água.

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Lixiviação de imazaquin em amostras de dois solos LVe

As coletas das amostras de solo foram realizadas em áreas agrícolas da região de Piracicaba e Araras (SP). Em uma área o herbicida imazaquin foi aplicado uma única vez em 2007 (área 1) e na outra não havia o histórico de aplicação do produto (área 2). Ambos os solos utilizados foram classificados como Latossolos Vermelhos. A coleta foi realizada na camada arável do solo. O material coletado foi seco e passado por uma peneira de 2 mm, objetivando a retirada de restos orgânicos e maior homogeneidade do solo. As análises química e física do solo estão apresentadas na Tabela 2. O experimento foi conduzido em sala climatizada com pouca luz e temperatura controlada entre 18 e 25 °C, segundo o protocolo da OECD (2002).

Tabela 2. Atributos físicos e químicos dos solos utilizados no experimento.

| Amostra | pH CaCl ₂ | MO g dm ⁻³ | P mg dm ⁻³ | -----mmol _c dm ⁻³ ----- | | | | | | V% % | -----g kg ⁻¹ ----- | | |
|--------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---|----|----|--------|------|-------|---------|-------------------------------|-------|-------|
| | | | | K | Ca | Mg | H + Al | SB | CTC | | argila | silte | areia |
| Lve – área 1 | 6,0 | 32 | 26 | 2,8 | 27 | 14 | 28 | 43,7 | 71,4 | 61 | 454 | 21 | 524 |
| Lve – área 2 | 5,3 | 47 | 23 | 2,3 | 50 | 17 | 34 | 69,2 | 103,4 | 67 | 478 | 97 | 424 |

Utilizou-se para o experimento colunas de vidro de 0,50 m com 5 cm de diâmetro. As colunas foram preparadas fechando a ponta das mesmas com lâ de quartzo, preenchendo a parte cônica com areia de quartzo lavada e seca em estufa a 100 °C e com solo até a altura de 0,30 m, colocando-se pequenas porções de terra seca ao ar no fundo da mesma, vibrando-se o conjunto para acomodar a terra, evitando-se, assim, a formação de bolhas de ar. As amostras de terra condicionadas nas colunas foram pesadas com o fim de controlar a reprodutibilidade do processo. No solo 1 foi utilizado 753 g de terra nas colunas e no solo 2 utilizado 760 g. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com 3 repetições.

Posteriormente, as colunas foram inundadas com solução CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹. O processo foi feito acomodando as colunas dentro de provetas de 2L e preenchendo cuidadosamente o espaço entre as duas vidrarias com solução. As colunas foram mantidas desta forma até a umidade alcançar a superfície do solo. Após o processo de inundação das colunas estas foram retiradas da proveta e instaladas em um suporte, ficando em repouso por 2 horas para drenagem da

solução de CaCl₂. O próximo passo foi o encaixe das colunas em suportes verticais e o posicionamento de erlenmeyers abaixo de cada uma para a coleta de solução salina excedente. A coleta foi realizada até a aplicação do herbicida.

O herbicida imazaquin (¹⁴C Imazaquin + produto técnico) foi aplicado na dose recomendada (1 L ha⁻¹), correspondente a 161 g i.a ha⁻¹, utilizando-se micropipeta, e adicionado diretamente sobre a superfície do solo de cada coluna. Foi utilizado o produto comercial Scepter Técnico (ácido 2-[4,5-diidro-4-metil-4-(1- metiletil)-5-oxi-1H-imidazol-2-il]-3-quinolino-carboxílico) da marca *Cyanamid* (pureza= 98,26%). Como produto radiomarcado, seu respectivo isótopo radioativo (¹⁴C-*Imazaquin*, com marcação no grupo carboxílico, atividade específica = 0,80 MBq.mg⁻¹; pureza radioquímica = 98 %) foi utilizado. Utilizou-se a radioatividade de 18.700 Bq por coluna de solo.

Após a aplicação do herbicida, para que a simulação de precipitação fosse distribuída da forma mais homogênea possível as superfícies das colunas de solo foram cobertas com um disco de lâ de quar-

tzo. Após este procedimento foi encaixado um funil invertido, o qual foi conectado uma mangueira pela qual a solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ passava. Foi simulado um fluxo de aproximadamente 8 mL h^{-1} por 48 horas, utilizando-se a solução de CaCl_2 , resultando em uma simulação de chuva de aproximadamente 200 mm por 48 horas.

A cada 12 horas foram coletadas três alíquotas de 10 mL do lixiviado e adicionadas a 10 mL de solução cintiladora (Insta-gel[®]) para medição no espectrofotômetro de cintilação líquida. Após 48 horas o fluxo de solução de CaCl_2 foi interrompido e as amostras de terra retiradas das colunas, injetando-se ar na ponta da coluna para forçar a saída de terra. As amostras foram cortadas em 6 partes resultando nas camadas: 0-5 cm; 5-10 cm; 10-15 cm; 15-20 cm; 20-25 cm; e 25-30 cm. As amostras foram secas ao ar, pesadas, maceradas e homogeneizadas. Três subamostras ($0,2 \text{ g}$) de cada camada de terra seca foram oxidadas em oxidador biológico para quantificação da radioatividade total.

Os resultados foram expressos em % da radioatividade encontrada no lixiviado e em cada segmento da coluna, em relação a radioatividade inicialmente aplicada. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mobilidade de imazaquin em diferentes solos

O perfil de mobilidade da molécula de imazaquin radiomarcada pode ser observado na Figura 1, mostrando que no solo com textura arenosa o arraste foi mais pronunciado. Entretanto, os valores de R_f para todos os solos estudados variaram entre 0,803 e 1 (Tabela 3), indicando que o herbicida possui alta mobilidade nos solos. Helling (1970) propôs um sistema de classificação em classes de 1 a 5, com base no movimento de 40 pesticidas utilizando a técnica de cromatografia em camada delgada. A classe 1 representa os compostos essencialmente imóveis e a classe 5 os compostos muito móveis. O imazaquin nos solos NXe, PVAe e RQo se encaixaria como muito móvel (0,9 a 1) e no solo LVe como móvel (0,65 a 0,89). Nos valores de pH das amostras de solos utilizados neste experimento (Tabela 1) o ima-

zaquin se apresentou predominantemente na forma aniônica, pois o pH dos solos $> \text{pKa}$ da molécula proporcionou repulsão entre as moléculas de imazaquin de caráter aniônico e os sítios de carga negativa dos colóides do solo, o que colaborou para que houvesse menor sorção e, portanto, maior mobilidade. Além disto, a baixa afinidade do imazaquin com a matriz do solo parece estar relacionada também com a redução de sua hidrofobicidade (K_{ow}) (REDDY; LOCKE, 1996). Isto se deve ao aumento da solubilidade em água do herbicida, em razão da grande quantidade de moléculas dissociadas. O aumento da solubilidade em água diminui a hidrofobicidade e, com isso, a capacidade de sorção do herbicida nos colóides orgânicos do solo (BARIZON et al, 2005).

Para Goetz et al. (1986), o imazaquin é altamente móvel em solos com baixo teor de C_{org} ($\leq 1 \%$), com R_f variando entre 0,83 e 0,9. De acordo com Regitano et al. (2001), o imazaquin apresenta maior disponibilidade e, portanto, maior potencial de lixiviação em solos com valores de pH acima de 6 e com baixos teores de C_{org} e argila, o que justifica menor mobilidade, encontrada neste estudo, no solo Lve, que é muito argiloso.

O solo que mais se destacou com relação a mobilidade foi o RQo, o qual apresentou R_f de 1,0 em todas as repetições, ou seja, a distância total percorrida pelo eluente (no caso a água) foi a mesma do herbicida, ficando evidente o contraste em relação aos demais solos, com um arraste mais pronunciado (Figura 1). Este fato pode ser explicado pelos atributos do solo que favoreceram a desorção do herbicida na forma aniônica, como pH do solo $> \text{pKa}$ do herbicida, aliado a uma textura arenosa e baixos valores de CTC, levando assim a uma menor interação da molécula de imazaquin com o solo, possibilitando um valor de R_f mais elevado. Os solos NXe e PVAe apresentaram R_f de 0,986 e 0,947, respectivamente, indicando uma mobilidade intermediária. O solo NXe apresentou pH próximo a 6, baixo teor de MO e de argila, o que explica o alto valor de R_f . Já o solo PVAe apresentou um teor um pouco maior de argila e pH próximo a 5,0. A mobilidade de um herbicida é fundamental para a incorporação superficial da maioria dos herbicidas, atingindo sementes ou plantas em germinação, mas quando excessiva pode carregá-los para camadas mais profundas do solo, limitando sua ação no banco de sementes das plantas daninhas (VELINI, 1992).

Figura 1. Perfil de mobilidade da molécula radiomarcada de imazaquin nos diferentes solos - LVe, NXe, PV Ae e RQo. As áreas sombreadas correspondem a maior presença do herbicida radiomarcado.

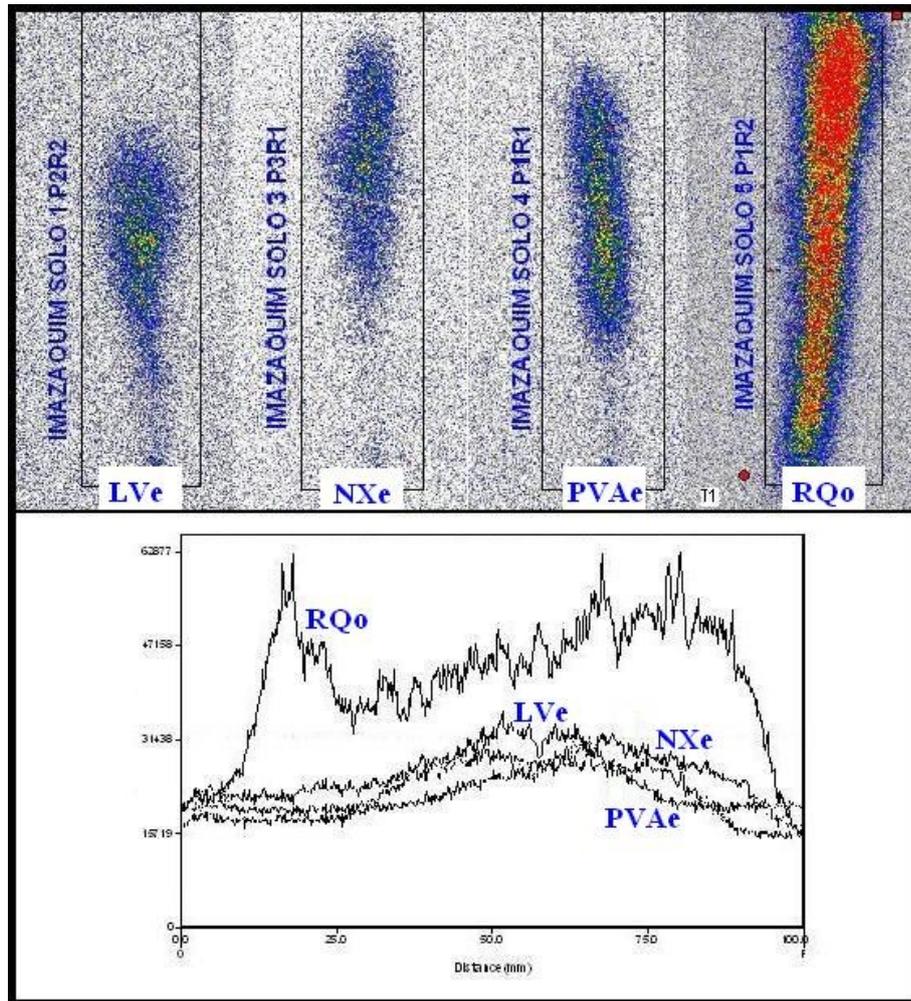


Tabela 3. Coeficiente de mobilidade (R_f) dos quatro tipos de solos submetidos aos tratamentos com o herbicida imazaquin.

| Solos | Coeficiente de mobilidade (R_f) |
|-------|-------------------------------------|
| LVe | 0,841 b |
| NXe | 0,986 a |
| PV Ae | 0,947 a |
| RQo | 1,000 a |
| DMS | 0,09 |

*Médias acompanhadas de letras iguais não diferem segundo teste de Tukey com 5% de significância. DMS = diferença mínima significativa.)

Lixiviação de imazaquin em amostras de dois solos LVe

As porcentagens médias de radioatividade acumulada nas 48 horas, encontradas na solução lixiviada nos solos e retiradas das duas áreas agrícolas foram iguais a zero (dados não mostrados). Apesar do imazaquin ser um herbicida ácido, os quais são normalmente menos sorvidos aos colóides do solo do que os herbicidas neutros ou básicos (REGITANO, 2001) e seu K_{ow} (0,12) ser classificado como mediantemente hidrofílico, observou-se que o mesmo não foi encontrado na solução lixiviada.

Os valores da porcentagem média em relação à radioatividade aplicada nas diferentes profundidades da coluna são apresentados na Tabela 4, onde se observa que mais de 95% da radioatividade do imazaquin foi retida nas camadas de 0 a 10 cm nos dois solos LVe, sendo que no solo com menor teor de matéria orgânica e maior pH (área 1) uma pequena % da radioatividade foi notada até a camada de 15-20 cm. A retenção do imazaquin está positivamente correlacionada com o teor de matéria orgânica e negativamente com o pH da solução do solo (LOUX et al., 1989; REGITANO et al., 2001), o que explica o menor deslocamento do herbicida no solo da área 2.

O imazaquin é fracamente adsorvido em solos com alto pH e o K_{oc} estimado é de 20 mL g⁻¹ a pH 7 (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). O aumento do pH do solo, através da calagem, proporcionou lixiviação de imazaquin (150 g ha⁻¹) até 40 cm de profundidade nas colunas com Latossolo Vermelho Distrófico (LV) (arenoso) e Latossolo Roxo Distroférrico (LR) (argiloso), após a simulação de uma chuva de 30 e 90 mm, respectivamente (INOUE et al., 2002). Em outro trabalho também foi verificado que a quantidade sorvida de herbicida imazaquin aumenta na medida que o pH diminui em solos franco arenosos e franco-siltoso (GOETZ et al., 1986). É importante lembrar que pesticidas ácidos, como os do grupo químico das imidazolinonas, também podem intera-

gir com a matéria orgânica, via ligações por pontes de hidrogênio, o que explica a retenção destes produtos em alguns solos com alto teor de matéria orgânica. Neste caso, a dessorção do herbicida pode ocorrer quando há alta umidade. Monquero et al. (2013) observaram que o imazaquin e o diclosulan apresentaram maior fitotoxicidade em plantas biondicadoras quando o solo era mantido a 100% da capacidade de campo. Por outro lado, no solo com 60% de capacidade de campo, a porcentagem de intoxicação das espécies bioindicadoras foi menor, já que esta condição favorece a ligação das moléculas do herbicida à fase sólida, reduzindo a sua mobilidade e disponibilidade no solo.

Tabela 4. Radiação recuperada após a oxidação em relação à radioatividade aplicada ao longo das colunas de solo.

| LVe | Profundidade (cm) | | | | | | Total Oxidado |
|--------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| | 0-5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 | 20-25 | 25-30 | |
| | Radiação recuperada % | | | | | | |
| Área 1 | 77,60 | 18,93 | 3,32 | 0,16 | 0,00 | 0,00 | 100,01 |
| Área 2 | 99,07 | 4,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 103,44 |

CONCLUSÕES

O imazaquin é um herbicida com alta mobilidade nos solos estudados, na seguinte ordem $RQ_0 = PV_{Ae} > LVe$.

O imazaquin foi observado até a camada de 15-20 cm no Latossolo Vermelho com maior pH e menor teor de matéria orgânica e até a camada de 5-10 cm no solo LVe com menor pH e maior teor de matéria orgânica.

A simulação de 200 mm de chuva proporcionou maior mobilidade do herbicida no solo com maior pH e menor teor de matéria orgânica. Entretanto, a presença do herbicida não foi detectada na solução lixiviada.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AICHELE, J.M.; PENNER, D. Adsorption, desorption, and degradation of imidazolinones in soil. **Weed Technology**, Champaign, v. 19, n. 1, p. 154-159, 2005.
- ARTUZI, J. P.; CONTIERO, R. L. Herbicidas aplicados na soja e produtividade do milho em sucessão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1119-1123, 2006.

BATTAGLIN, W. A. et al. Occurrence of sulfonylurea, sulfonamide, imidazolinone, and other herbicides in rivers, reservoirs and ground water in the Midwestern United States, 1998. **Science of the Total Environment**, Barcelona, v. 248, n. 2-3, p. 123-133, 2000.

BARIZON, R. R. M.; LAVORENTI, A.; REGITANO, J. B.; TORNISIELO, V. L. Sorção e dessorção do imazaquin em solos com diferentes características granulométricas, químicas e mineralógicas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 695-703, 2005.

CHAKKA, K. B., MUNSTER, C. L. Atrazine and nitrate transport to the brazos river floodplain aquifer. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 40, n. 3, p. 615-621, 1997.

DAN, H. A. et al. Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 437-445, 2011.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 36-41, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 306 p.

FERRI, M. V. W. et al. Lixiviação do herbicida acetoclor em solo submetido à semeadura direta e ao

- preparo convencional. **Pesticidas: Revista Ecotoxicológica e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 13, n. 2, p. 147-156, 2003.
- GOETZ, A. J. et al. Soil solution and mobility characterization of imazaquin. **Weed Science**, Champaign, v. 34, n. 3, p. 788-793, 1986.
- HELLING, C. S. Pesticide mobility in soils. II. Applications of soil thinlayer chromatography. **Soil Science Society American Proceeding**, Madison, v. 35, n. 737-743, 1970.
- INOUE, M. H. et al. Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 125-132, 2002.
- KALITA, P. K. et al. Groundwater residues of atrazine and alachlor under water-table management practices. **Transaction of the ASAE**, Saint Joseph, v. 40, n. 3, p. 605-614, 1997.
- LOUX, M. M.; LIEBL, R. A.; SLIFE, F. W. Adsorption of imazaquin and imazethapyr on soils, sediments, and selected adsorbents. **Weed Science**, Champaign, v. 37, n. 3, p. 712-718, 1989.
- MONQUERO, P. A.; MUNHOZ, W. S.; HIRATA, A. C. S. Persistência de imazaquim e diclosulam em função da umidade do solo. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 7, n. 3, p. 331-337, 2013.
- NOVO, M. C. et al. Persistência de imazaquim em Latossolo Roxo cultivado com soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 30-38, 1997.
- OLIVEIRA, M. F. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA Jr., R. S.; CONSTANTIN, J. (Ed.). **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba: Agropecuária, 2001. v.1, cap, 10, p. 315-362.
- REDDY, K. N.; LOCKE, M. A. Imazaquin spray retention, foliar washoff and runoff losses under simulated rainfall. **Pest Management Science**, Oxford, v. 48, n.2, p. 179-187, 1996.
- REGITANO, J. B. et al. Retention of imazaquim in soil. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Michigan, v. 16, n. 397-404, 1997.
- REGITANO, J. B. et al. Imazaquin sorption in highly weathered tropical soils. **Journal Environment Quality**, Madison, v. 29, n. 3, p. 894-900, 2000.
- REGITANO, J. B.; ALLEONI, L. R. F.; TORNISELO, V. L. Atributos de solos tropicais e a sorção de imazaquin. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 801-807, 2001.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. de. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina, PR: Ed. Autores, 2011, 648 p.
- SEIFERT, S. et al. Imazaquin mobility and persistence in a sharkey clay soil as influenced by tillage systems. **Weed Science**, Champaign, v. 49, n. 2, p. 571-577, 2001.
- SHANER, D. L. Imidazolinone herbicides. IN: PLUMMER, D.; RAGSDALE, N. (Ed.) **Encyclopedia of agrochemicals**. Hoboken NJ: John Wiley and Sons, 2003. p. 769-784.
- STOUGAARD, R. N.; SHEA, P. J.; MARTIN, A. R. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility, and efficacy of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, Champaign, v. 38, n. 1, p. 67-73, 1990.
- TAN, S. et al. Imidazolinone tolerant crops: history, current status and future. **Pest Management Science**, Oxford, v. 61, n. 3, p. 246-257, 2005.
- VELINI, E. D. Comportamento de herbicidas no solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE MANEJO DE PLANTAS DANINHAS EM HORTALIÇAS, 1., 1992, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, 1992. p.44-64.
- VIDAL, R. A. (Ed.) **Ação dos herbicidas: absorção, translocação e metabolização**. Porto alegre: Evangraf, 2002. 89 p.
- YODER, R. N. et al. Aerobic metabolism of diclosulam on U.S. and South American soils. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Munique, v. 48, n. 1, p. 4335-4340, 2000.