

Lixiviação do herbicida imazaquin associado ao paraquat ou *glyphosate* em plantio direto

Nunes, Anderson Luis¹ & Ribas Antonio Vidal

Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Campus Sertão; ¹anderson.nunes@sertao.ifrs.edu.br

Nunes, Anderson Luis; Ribas Antonio Vidal (2017) Lixiviação do herbicida imazaquin associado ao paraquat ou *glyphosate* em plantio direto. Rev. Fac. Agron. Vol 116 (1): 63-67.

O objetivo do presente trabalho foi determinar a lixiviação do herbicida residual imazaquin associado ou aplicado sequencialmente com os herbicidas dessecantes paraquat ou *glyphosate* quando aplicados sobre cobertura vegetal. O trabalho foi realizado a campo na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS) em área de plantio direto, e em câmara de crescimento da Faculdade de Agronomia da UFRGS sob Argissolo Vermelho Distrófico típico, contendo 28% de argila. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos distribuídos em parcelas subdivididas. Nas parcelas principais, foram alocados os herbicidas dessecantes paraquat (600 g ha^{-1}) ou *glyphosate* (720 g ha^{-1}); nas subparcelas o herbicida residual imazaquin (300 g ha^{-1}) associado ou aplicado sequencialmente aos herbicidas dessecantes, assim como uma testemunha contendo apenas herbicida dessecante, sem aplicação do herbicida residual. A lixiviação do imazaquin não foi diferente em função da presença do *glyphosate* ou paraquat quando aplicado sobre a cobertura vegetal. Não houve diferença na lixiviação do imazaquin em função da aplicação em associação ou sequencial ao dessecante. A concentração biodisponível no solo aos 25 dias após a aplicação foi maior entre 2 e 8 cm de profundidade. Nesse sentido, o herbicida imazaquin apresentou baixa capacidade de lixiviação.

Termos para indexação: manejo, residual, cobertura vegetal, bioensaio.

Nunes, Anderson Luis; Ribas Antonio Vidal (2017) Leaching of the herbicide imazaquin associated to paraquat or *glyphosate* in no-tillage system. Rev. Fac. Agron. Vol 116 (1): 63-67.

The objective of this work was to evaluate the leaching of the residual herbicide imazaquin when applied simultaneously or in sequence to non-selective herbicides paraquat and *glyphosate*. In the present work we evaluated, under field conditions at the Estação Experimental Agronômica of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), in no-till area, and in the growing chamber of the Faculdade de Agronomia of the UFRGS under Argissolo Vermelho Distrófico típico (Ultisol) contend 28% of clay. The experimental design used was the random blocks with four repetitions, being the treatments distributed in subdivided plots. The non-selective herbicides were placed in the main plots (paraquat, 600 g ha^{-1} or *glyphosate* 720 g ha^{-1}), the residual herbicide imazaquin (300 g ha^{-1}) were applied in the subplots associated or sequentially to the non-selective herbicides. The control treatment consisted of non-selective herbicide, without application of the residual herbicide. The presence of non-selective herbicides didn't affect the leaching of the residual herbicide when applied on cover crop. There is no difference between associated and sequential application of the non-selective herbicides on the leaching of imazaquin. The bioavailable concentration in soil collected 25 days after the application was highest among 2-8 cm depth. In this sense, the herbicide imazaquin has low leaching capacity.

Key words: management, residual, vegetal cover, bioassays.

Recibido: 09/07/2015

Aceptado: 27/09/2016

Disponibile on line: 31/07/2017

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

INTRODUÇÃO

O uso de herbicidas residuais em associação ao *glyphosate* no manejo da cobertura vegetal para a implementação da cultura no sistema de plantio direto esta cada vez mais frequente. Além de ser uma alternativa de controle de plantas daninhas resistentes a herbicidas, o uso de herbicidas residuais aumenta os níveis de controle de plantas daninhas no período inicial de desenvolvimento da cultura. A presença da cultura de inverno no momento da aplicação do herbicida para a formação da cobertura vegetal promove alterações que afetam a dinâmica dos herbicidas residuais com destino ao solo (Ferri et al., 2006). A presença da cobertura vegetal pode inibir a lixiviação dos herbicidas, devido à interceptação e a sorção dos componentes na cobertura vegetal. O herbicida atrazine teve menor lixiviação no sistema de semeadura direta quando comparado com o sistema de semeadura convencional (Weber et al., 2006). A associação com o herbicida dessecante pode também afetar a dinâmica da lixiviação do herbicida residual, uma vez que, na presença de *glyphosate* a persistência do S-metolachlor é menor em comparação na presença de paraquat quando aplicados sobre azevém (Nunes&Vidal, 2008). Com menor persistência, existe a probabilidade de haver menor lixiviação, uma vez que o tempo de presença no perfil do solo para que ocorra a lixiviação é menor. Além disso, poderão ocorrer interações químicas, entre o herbicida residual e herbicida dessecante, que podem afetar a lixiviação do imazaquin.

O herbicida imazaquin é aplicado, em pré-emergência, pré-plantio incorporado ou pós-emergência, para o controle de algumas monocotiledôneas e um grande número de dicotiledôneas (Wang et al., 2015), atuando como inibidor da enzima acetolactato sintase (ALS), de forma seletiva para a cultura da soja. É um composto anfótero, possuindo um ácido fraco carboxílico e uma base fraca quinolina como grupos funcionais ionizáveis e pertence ao grupo químico das imidazolinonas (Senseman, 2007), sendo dissipado no solo principalmente por bactérias (Ramezani et al., 2010).

O imazaquin demonstra potencial de lixiviação através de modelos matemáticos (Inoue et al., 2003). Em quatro tipos de solos contrastantes, o imazaquin apresentou alto nível de lixiviação, onde que a distribuição abaixo de 30 cm do perfil do solo variou entre 60 e 95% do produto aplicado inicialmente (Weber et al., 2003). A lixiviação do imazaquin está relacionada a vários fatores, como pH, teores no solo de matéria orgânica, ácidos húmicos, matéria húmica, argila, Fe disponível e ferridrita (Lavorenti et al., 2003). O aumento dos colóides do solo e o pH baixo diminuem o potencial de lixiviação deste herbicida (Inoue et al., 2002; Weber et al., 2003).

As hipóteses deste trabalho são que o herbicida imazaquin apresente baixa lixiviação. Além disso, a presença do herbicida paraquat implicará em menor lixiviação do herbicida residual. Não haverá diferença na lixiviação do imazaquin em função da sua aplicação em associação ou sequencial ao *glyphosate* ou paraquat. O objetivo do presente trabalho foi o de determinar a lixiviação do herbicida residual imazaquin associado ou aplicado sequencialmente com os

herbicidas dessecantes paraquat ou *glyphosate* quando aplicados sobre cobertura de azevém.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado a campo na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada em Eldorado do Sul, região fisiográfica da Depressão Central do RS, e em casa de vegetação da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), localizada no município de Porto Alegre. O solo da EEA/UFRGS é classificado, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), como Argissolo Vermelho Distrófico típico, contendo 2,3% de matéria orgânica (M.O.) e 28% de argila.

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos distribuídos em parcelas subdivididas. Nas parcelas principais foram alocados os herbicidas dessecantes: paraquat (600 g ha⁻¹) ou *glyphosate* (720 g ha⁻¹), nas subparcelas o herbicida residual imazaquin (300 g ha⁻¹) associado ou aplicado sequencialmente aos herbicidas dessecantes, assim como uma testemunha contendo apenas herbicida dessecante, sem aplicação de herbicidas residuais. Na aplicação sequencial, o imazaquin foi aspergido cinco minutos após a aplicação do herbicida dessecante. Cada unidade experimental mediu 2 x 5 m.

Os herbicidas foram pulverizados com equipamento costal, pressurizado com CO₂, à pressão constante de 200 kPa, bicos tipo leque 8001, distantes em 0,50 m na barra de 1,5 m de largura e volume de calda de 110 L ha⁻¹. A aplicação foi realizada das 16:00 às 16:55 horas. No momento da aplicação a temperatura média foi igual a 27°C e a umidade relativa média do ar foi igual a 71%. A pulverização foi realizada sobre cobertura vegetal viva formada por plantas de *Lolium multiflorum* Lam. que estavam na fase de floração. A massa seca total da cobertura viva era de 2800 kg ha⁻¹. As precipitações pluviais foram medidas através de pluviômetro.

As amostras de solo utilizadas para a determinação da lixiviação foram coletadas 25 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas a campo. Inicialmente, o material vegetal foi retirado da superfície do solo, em seguida introduziu-se verticalmente, com auxílio de um martelo de borracha, um tubo de PVC de 25 mm de diâmetro e 25 cm de comprimento, até a borda do tubo alinhar-se à superfície do solo. Após, os tubos foram retirados sem desintegrar as amostras de solo e acondicionados em caixas de isopor. Posteriormente, cortou-se o terço superior do tubo no sentido horizontal para semear a planta indicadora.

Após a coleta das colunas de solo, realizou-se um bioensaio em casa de vegetação, utilizando *Raphanus sativus* L. (nabo forrageiro) como espécie indicadora da lixiviação dos herbicidas residuais. Uma semente pré-germinada foi semeada a cada 2 cm no sentido transversal da coluna de solo coletada a campo (2 x 18 cm). O desenvolvimento das plantas ocorreu em câmara de crescimento com temperatura média de

25,3 ± 3,1°C e umidade relativa do ar de 85,4 ± 9,8%, fotoperíodo de 12 h, com irrigação por aspersão.

No bioensaio, avaliaram-se as variáveis fitotoxicidade e estatura. A fitotoxicidade foi avaliada aos 7 dias após a semeadura (DAS) das plantas indicadoras nas amostras de solo coletadas em diferentes intervalos de tempo, após a aplicação dos herbicidas no campo (1 aos 35 DAA). A estatura foi avaliada aos 11 DAS, através de régua milimétrica. Para fitotoxicidade, atribuíram-se notas que variaram de 0%, para ausência de efeito, a 100%, para efeito letal nas plantas.

A biodisponibilidade do imazaquin no solo foi determinada através de curvas de calibração. Para obter estas curvas plantas foram semeadas no solo coletado a campo aspergidos com 0, 15, 30, 50, 65, 80 e 100% da dose máxima do rótulo do herbicida imazaquin (140 g ha⁻¹). As curvas de calibração foram obtidas através do programa computacional *Origin 8.0*, após submeter os dados a análise da variância. Os dados obtidos no bioensaio foram convertidos para porcentagem em relação à testemunha sem herbicida. Os dados provenientes da variável estatura avaliados aos 11 dias após a semeadura (DAS) da planta indicadora foram utilizados para obter a biodisponibilidade (g ha⁻¹) do herbicida residual no solo, através da curva de calibração. Os dados do bioensaio e da biodisponibilidade foram, em seguida, submetidos à análise da variância pelo teste F. As variáveis analisadas foram avaliadas através da comparação das médias de tratamentos, pelo teste DMS a 5% de probabilidade de erro experimental ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre a pulverização dos herbicidas na cobertura vegetal até a coleta de solo para verificação da lixiviação, realizada aos 25 dias após a aplicação (DAA), ocorreram chuvas no total de 95 mm. Destes, 21 mm ocorreram no primeiro DAA. O teste F revelou

insignificância para o efeito dessecante (paraquat e glyphosate) e aplicação (associação e sequencial), assim como para todas as interações possíveis e devido a isso os resultados do efeito simples de profundidade serão apresentados nas médias dos tipos de aplicação.

A toxicidade causada pelo imazaquin nas plantas indicadoras foi maior entre 2 e 8 cm de profundidade, comparado às demais profundidades. Este resultado indica alta concentração do imazaquin na camada superficial do solo. A partir de 8 cm a toxicidade foi reduzida em relação à camada superficial (Figura 1). Na avaliação da estatura realizada aos 11 DAS observou-se que as plantas de nabo forrageiro apresentaram menor estatura quando semeadas no solo aspergido com imazaquin entre 2 e 8 cm de profundidade, em comparação entre 10 e 18 cm de profundidade. Entre 2 e 8 cm de profundidade a redução de estatura foi até 40% em relação a testemunha (Figura 2). Os resultados de fitotoxicidade e estatura indicam que a precipitação pluvial acumulada de 95 mm foi suficiente para lixiviar o imazaquin da cobertura vegetal para locais do perfil do solo onde o produto possui atividade herbicida.

Por meio da variável estatura do nabo forrageiro (Figura 2) e da curva de calibração (Figura 3), determinou-se a biodisponibilidade do imazaquin no perfil do solo (Figura 4). A equação de ajuste da curva de calibração seguiu o modelo linear, com R² igual a 0,99. Após 25 dias da aplicação do imazaquin com os herbicidas dessecantes no campo, o mesmo apresentou maior biodisponibilidade dos 2 aos 8 cm de profundidade, em média 41 g ha⁻¹ (Figura 4). A partir dos 8 cm, a quantidade disponível de imazaquin na solução do solo foi significativamente menor e variou de 2 a 15 g ha⁻¹. Dos 300 g ha⁻¹ de imazaquin aplicados inicialmente à campo, 190 g ha⁻¹ (63%) estavam biodisponíveis no perfil do solo avaliado, sendo que 86% da biodisponibilidade estava entre 2 e 8 cm de profundidade (Figura 4).

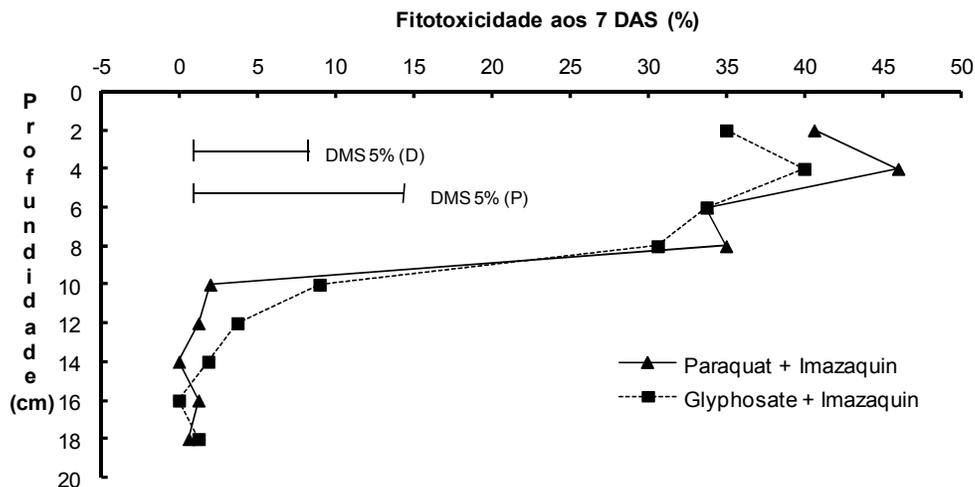


Figura 1. Toxicidade de imazaquin associado a herbicidas dessecantes (Paraquat e Glyphosate) sobre nabo forrageiro, sete dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.

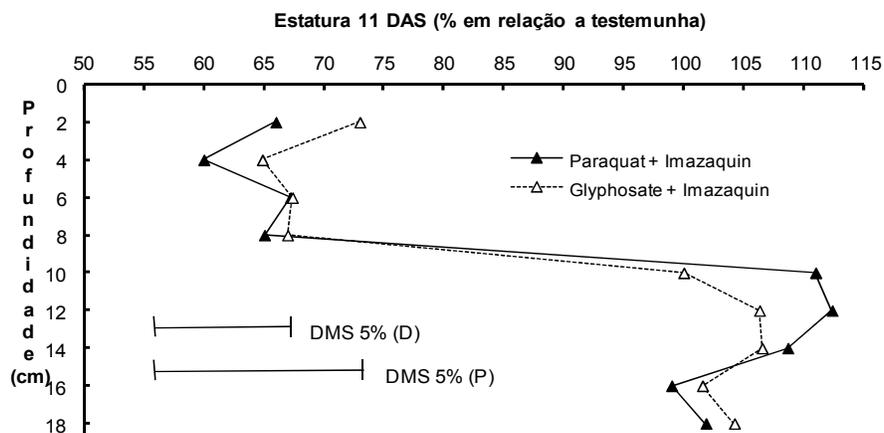


Figura 2. Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função do imazaquin associado a herbicidas dessecantes (paraquat e glyphosate), onze dias após a semeadura (DAS) do mesmo em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.

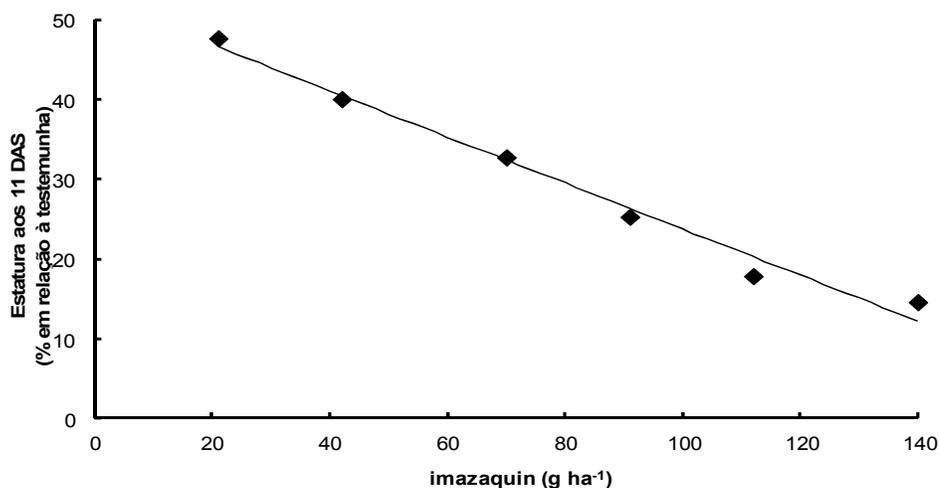


Figura 3. Estatura (% em relação à testemunha) do nabo forrageiro, em função de doses do herbicida imazaquin, onze dias após a semeadura do mesmo.

Através das variáveis analisadas e da estimativa da biodisponibilidade verificou-se que o herbicida imazaquin apresentou maior concentração entre 2 e 8 cm de profundidade, quando submetido à precipitação pluvial acumulada de 95 mm durante 21 dias. A lixiviação do imazaquin no solo é inversamente relacionada ao conteúdo de M.O. e argila no solo (De Oliveira et al., 2006) e do pH do solo (Regitano et al., 2005). O solo no local do experimento apresentava 2,3% de M.O e 28% de argila, valores que colaboraram na redução da lixiviação do imazaquin. Avaliando o efeito da calagem na mobilidade do imazaquin em solos brasileiros foi verificado que quanto maior o pH do solo, maior a lixiviação da molécula. Isso pode ser explicado pelo fato do imazaquin apresentar característica de ácido fraco e os solos apresentarem balanço de cargas negativas (Inoue et al., 2002). Após a aplicação do imazaquin, quanto mais cedo ocorrerem

chuvas, maior será a lixiviação da molécula, principalmente em solo arenosos (Regitano et al., 2002).

A concentração total do imazaquin presente no solo na profundidade de 0 a 18 cm foi de 60,1% do produto aplicado inicialmente. A biodisponibilidade e a distribuição do imazaquin no perfil do solo pode ser explicada basicamente por três razões. Primeiro, devido à elevada persistência do imazaquin, que o local onde foi realizado o estudo varia entre 57 e 66 dias (Vidal&Nunes, 2010). Segundo, o imazaquin apresenta baixo Log K_{ow} (0,30), deste modo, a retenção do imazaquin nos colóides do solo e na palha é menor, aumentando a biodisponibilidade do herbicida. Terceiro, a solubilidade em água do imazaquin é de apenas 60 mg L⁻¹, assim, a mobilidade do imazaquin é menor, fazendo que o produto fique concentrado na parte superficial da camada do solo.

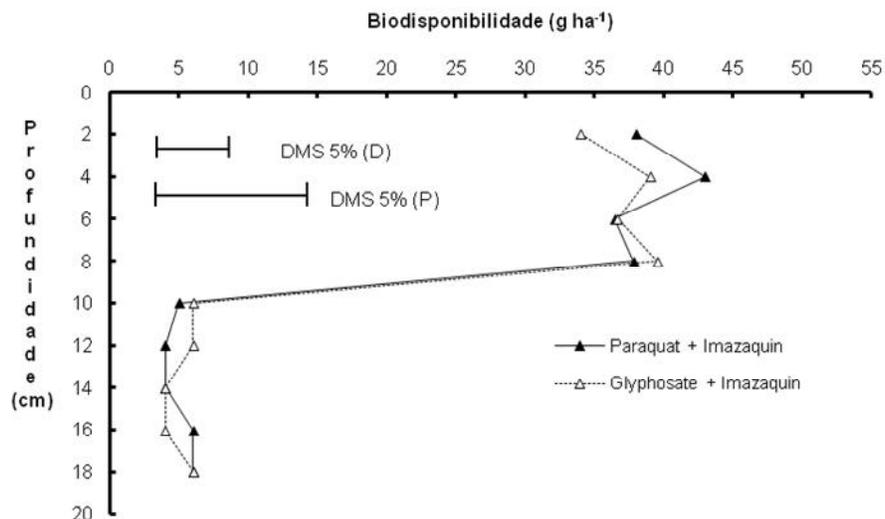


Figura 4. Biodisponibilidade do imazaquin em função do herbicida dessecante (paraquat e glyphosate), obtido através da variável estatura avaliada aos onze dias após a semeadura (DAS) do nabo forrageiro em diferentes profundidades. DMS (D) compara médias entre dessecantes na mesma profundidade e DMS (P) compara médias entre profundidades de uma mesma associação.

CONCLUSÕES

O herbicida imazaquin apresentou baixa lixiviação. Além disso, os tipos de herbicidas dessecantes utilizados não afetaram a lixiviação do imazaquin. Assim como não há diferenças na lixiviação desse herbicida em função da sua aplicação sequencial ou em associação com herbicidas dessecantes. Mais de 60% do produto inicialmente aplicado foi biodetectado no solo. A maior concentração de imazaquin detectada através do bioensaio ocorreu entre 2-8 cm de profundidade.

BIBLIOGRAFIA

- De Oliveira, M.F., H.T. Prates, D.P. Santana & R.S. de Oliveira. 2006. Imazaquin sorption in surface and subsurface soil samples. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 41: 461-468.
- Embrapa. 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa Solos. Rio de Janeiro. 306 pp.
- Ferri, M.V.W., M.M. Adams, M.D.R. Peralba, R.A. Vidal & T.M. Pizzolato. 2006. Activity, adsorption, and lixiviation of acetochlor in soil under no tillage and conventional tillage: Influence of straw coverage. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 37: 627-640.
- Inoue, M.H., O. Marchiori Jr., R.S. Oliveira Jr., J. Constantin & C.A. Tormena. 2002. Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. *Planta Daninha* 20: 125-132.
- Inoue, M.H., R.S. Oliveira JR., J.B. Regitano, C.A. Tormena, V.L. Tornisielo & J. Constantin. 2003. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no Estado do Paraná. *Planta Daninha* 21: 313-323.
- Lavorenti, A., F. Prata & J.B. Regitano. 2003.

Comportamento de pesticidas em solos- Fundamentos. En: Tópicos Especiais em Ciência do Solo. Ed CURTI, et al, Viçosa. pp. 335-400.

- Nunes, A.L. & R.A. Vidal. 2008. Persistência do herbicida S-metolachlor associado ao glyphosate ou paraquat em plantio direto. *Planta Daninha* 26: 385-393.
- Ramezani, M.K., D.P. Oliver, R.S. Kookana, W. Lao, G. Gill & C. Preston. 2010. Faster degradation of herbicidally-active enantiomer of imidazolinones in soils. *Chemosphere* 79: 1040-1045.
- Regitano, J.B., F. Prata, W.S.D. Rocha, V.L. Tornisielo & A. Lavorenti. 2002. Imazaquin mobility in tropical soils in relation to soil moisture and rainfall timing. *Weed Research* 42: 271-279.
- Regitano, J.B., W.S.D. Da Rocha & L.R.F. Alleoni. 2005. Soil pH on mobility of imazaquin in oxisols with positive balance of charges. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 4096-4102.
- Senseman, S.A. 2007. *Herbicide handbook*. Weed Science Society of America. Lawrence. 458 pp.
- Vidal, R.A. & A.L. Nunes. 2010. Persistence of Imazaquin Associated to Glyphosate or Paraquat under No-Tillage. *Planta Daninha* 28: 817-823.
- Wang, D.H., Y.M. Wang, Y.M. Yin, S. Min, S.Y. Wang & Y.L. Yu. 2015. Bioavailability-based estimation of phytotoxicity of imazaquin in soil to sorghum. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 5437-5443.
- Weber, J.B., E.J. McKinnon & L.R. Swain. 2003. Sorption and mobility of C-14-labeled imazaquin and metolachlor in four soils as influenced by soil properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 5752-5759.
- Weber, J.B., K.A. Taylor & G.G. Wilkerson. 2006. Soil and herbicide properties influenced mobility of atrazine, metolachlor, and primisulfuron-methyl in field lysimeters. *Agronomy Journal* 98: 8-18.