



ARTIGO ORIGINAL

Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da soja

Residual activity of herbicides in corn and soybean crops

Felipe Augusto Reis Gonçalves¹
Christiane Augusta Diniz Melo^{1*}
Paulo César de Queiroz¹
Ricardo Tsuyoshi Endo¹
Daniel Valadão da Silva²
Marcelo Rodrigues dos Reis¹

1 Universidade Federal de Viçosa – UFV,
Rodovia MG-230, Km 7, 38810-000,
Rio Paranaíba, MG, Brasil

2 Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Rua Francisco Mota, 572, Presidente
Costa e Silva, 59625-900, Mossoró, RN, Brasil

*Autor Correspondente:

E-mail: chrisadinizmelo@yahoo.com.br

PALAVRAS-CHAVE

Carryover

Injúria na planta

Persistência no solo

Rotação de culturas

KEYWORDS

Carryover

Crop rotation

Herbicide Injury

Soil persistence

RESUMO: O uso de herbicidas com longa atividade residual no solo reduz o número de aplicações e o custo de produção, mas pode causar efeitos negativos às culturas sensíveis implantadas em sucessão. Dois experimentos em campo foram realizados para avaliar o efeito residual de herbicidas sobre as culturas do milho e da soja. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de quatro herbicidas: Atrazine, Flumioxazin, Metribuzin e mistura DHS (Diuron, Hexazinone e Sulfometuron-methyl), além do controle sem herbicida. A semeadura do milho e da soja ocorreu 120 dias após a aplicação dos herbicidas em pré-emergência das plantas daninhas. Realizou-se avaliações de índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*), matéria seca da parte aérea e produtividade para ambas as culturas. Para a cultura da soja determinou-se também o número de grãos e vagem por planta e o peso de mil grãos. O residual de herbicidas no solo causou efeitos fitotóxicos às culturas do milho e da soja, diminuindo a intensidade da cor verde das folhas, a matéria seca da parte aérea e a produtividade. Não foi observado efeito residual de Atrazine e Metribuzin sobre o milho. A atividade residual da Mistura DHS no solo causa maior toxicidade para o milho e a soja, com efeito negativo em todas variáveis analisadas.

ABSTRACT: *The use of herbicides with long residual activity in the soil reduces the number of applications and production costs, but may cause adverse effects to sensitive crops planted in succession. Two field experiments were conducted to evaluate the residual effects of herbicides on corn and soybean crops. The experiments were performed with randomized block design with four replications. The treatments consisted of four herbicides: Atrazine, Flumioxazin, Metribuzin and DHS mixture (diuron, hexazinone and sulfometuron-methyl) and a control group without herbicide. The sowing of corn and soybean occurred 120 days after pre-emergence application of herbicides. Assessments of SPAD index, dry matter of the aerial part and productivity for both crops were conducted. The number of grains and pods per plant and the weight of a thousand grains also were determined for the soybean crop. The herbicide residuals in the soil caused phytotoxic effects on both corn and soybean crops, reducing the intensity of green in the leaves, amount of dry matter of the aerial part and productivity. No residual effect was observed for Atrazine and Metribuzin on corn. Residual activity of DHS mixture in the soil causes higher toxicity for both corn and soybean, with a negative effect on all variables analyzed.*

Recebido: 9 jan. 2016

Aceito: 8 abr. 2018

1 Introdução

As culturas do milho (*Zea mays* L.) e da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) destacam-se como graníferas de grande importância na alimentação humana e animal. No Brasil, a área cultivada com milho e soja na safra 2016/17 representou 85% da área total de grãos semeada (Brasil, 2017). Por serem espécies de ciclo curto (90-150 dias), essas culturas são frequentemente cultivadas em sucessão/rotação entre elas e com outras, estando portanto sujeitas a efeitos positivos, como a interrupção de ciclos de vida de pragas e de doenças e a melhoria da qualidade do solo, e negativos, como o efeito residual de herbicidas no solo de práticas utilizadas no cultivo anterior.

O uso de herbicidas com longo efeito residual no solo tem como vantagem proporcionar o controle de plantas daninhas por maior tempo e reduzir o número de aplicações e o custo de produção. Jarentchuk et al. (2009) observaram o controle de várias plantas daninhas, tanto monocotiledôneas quanto eudicotiledôneas em solos argilosos e arenosos, mesmo 40 dias após a aplicação de 25 e 40 g ha⁻¹ de Flumioxazin. Todavia, a persistência dos herbicidas no solo pode causar efeitos tóxicos, conhecidos como *carryover*, às culturas cultivadas em sucessão na mesma área, levando à redução do crescimento, da produtividade e da qualidade dos produtos colhidos (Artuzi & Contieiro, 2006; Soltani et al., 2011; Dan et al., 2012).

A persistência de um herbicida no solo é dependente de características físico-químicas da molécula, como a constante de equilíbrio de ionização do ácido (pK_a), o coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}), a solubilidade em água (S_w), a pressão de vapor (PV), bem como de características inerentes ao solo, como a granulometria, o pH, a capacidade tampão, a mineralogia, o teor de matéria orgânica e a atividade microbiana, além das condições climáticas (Mancuso et al., 2011). Assim, pode-se inferir que herbicidas de maior persistência no solo podem apresentar maior efeito residual, tendo assim potencial para prejudicar cultivos posteriores e agroecossistemas.

A Atrazine, do grupo químico das triazinas, é um herbicida registrado e amplamente utilizado na cultura do milho, classificado como de moderada persistência no solo e muito perigoso ao meio ambiente pela alta lixiviabilidade (Archangelo et al., 2005). O tempo de meia-vida, em condições de campo, pode chegar a 108 dias (PPDB, 2018). Delmonte et al. (1996) ressaltam o impacto de resíduos de Atrazine nos solos, pois sua persistência tende a aumentar o potencial poluente e geração de toxidez às culturas subsequentes. Sua persistência, aplicada isoladamente ou em mistura em diferentes solos e regiões climáticas, tem sido investigada, com efeitos fitotóxicos sobre culturas sensíveis como arroz, feijão, soja, girassol, algodão, pepino e cenoura cultivadas em sucessão na área (Fuscaldo et al. 1999; Carvalho et al., 2010; Furlan et al., 2016).

O Metribuzin, pertencente ao mesmo grupo químico da Atrazine, é um herbicida bastante utilizado em pré-emergência, principalmente na soja (Brasil, 2018). Esta molécula possui meia-vida entre 11,5 a 19 dias, de acordo com as características físico-químicas do solo (PPDB, 2018), e apresenta baixa adsorção no solo, sendo facilmente lixiviável (Silva Júnior et al., 2015). Walperes et al. (2015), estudando o efeito residual de doses crescentes de Metribuzin no solo, constataram que

seus resíduos podem inviabilizar a sucessão de culturas com alho, cebola e feijão.

O Flumioxazin é um herbicida registrado no Brasil para aplicação em pré e pós-emergência das plantas daninhas na soja (Brasil, 2018), que é altamente adsorvido no solo (Ferrell et al., 2005) e sua principal via de degradação é a microbiana. Sua persistência no solo é baixa, com meia-vida entre 15,6 a 19,5 dias (PPDB, 2018). Devido a sua ação no controle de folhas largas e de algumas gramíneas, aliado à inexistência de plantas daninhas resistentes a seu princípio ativo no país (Heap, 2018), o Flumioxazin constitui um importante herbicida utilizado em cultivos de soja. Por outro lado, seus resíduos no solo podem causar sintomas visuais de fitotoxicidade e redução do crescimento de plantas de milho e amendoim, sem contudo interferir negativamente na produtividade de grãos destes e do milho (Wilcut et al., 2001; Dan et al., 2011, 2012).

A mistura comercial DHS (Diuron, Hexazinone e Sulfometuron-methyl) possui três moléculas ativas, dos grupos químicos das ureias (Diuron), triazinonas (Hexazinone) e sulfonilureias (Sulfometuron-methyl), e é registrada no Brasil para aplicação em pré-emergência das plantas daninhas na cana-de-açúcar (cana soca) no período de seca (Giancotti et al., 2012). A mistura é prontamente absorvida pelas raízes, altamente persistente e móvel no solo, tendo intervalo de segurança de 150 dias (DuPont do Brasil, 2018). Ela foi lançada recentemente no mercado e são escassas as informações na literatura sobre sua dinâmica e seu comportamento no solo.

Estudos sobre o efeito residual de herbicidas são fundamentais para recomendação segura de produtos em um planejamento de rotação de culturas, dada a importância das culturas analisadas (milho e soja) na economia brasileira e a escassez de informações contidas nas bulas quanto às restrições de uso para cultivos sucedâneos. Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito residual de Atrazine, Flumioxazin, Metribuzin e da Mistura DHS sobre as culturas do milho e da soja.

2 Material e Métodos

Dois experimentos foram realizados em Rio Paranaíba-MG durante o período de novembro de 2014 a julho de 2015, cada um correspondente a uma cultura avaliada (milho ou soja). O solo da área é classificado como latossolo vermelho-amarelo distroférico típico (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013) (Tabela 1), de textura argilosa, com histórico de cultivo de milho e batata no ano anterior ao do experimento.

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram da aplicação de doses comerciais de Atrazine (2000 g i.a. ha⁻¹), Flumioxazin (90 g i.a. ha⁻¹), Metribuzin (720 g i.a. ha⁻¹) e Mistura DHS (2300 g i.a. ha⁻¹), além do controle sem herbicida.

Os herbicidas foram aplicados em novembro de 2014 com o uso de um pulverizador costal pressurizado com CO₂ a 200 kPa, munido de barra composta por duas pontas de jato plano tipo leque 110.02, espaçadas em 0,5 m, com uma distância de 0,5 m do alvo e volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹. A área permaneceu em pousio até o plantio das culturas avaliadas.

Tabela 1. Atributos químicos do solo da área experimental.**Table 1.** Soil chemical attributes of the experimental area.

pH	P	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	M.O.	V	P-rem
H ₂ O	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³				dag dm ⁻³	%	mg L ⁻¹	
5,2	8,4	56,0	0,41	7,4	2,9	0,7	11,14	3,9	34,0	12,9

Extrator/método: pH H₂O: Relação 1:2,5; M.O. (matéria orgânica): K₂Cr₂O₇/Walkley-Black; P e K⁺: Mehlich-1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: KCl.

O milho AG 8690 VT PRO3 e a soja cultivar BRS Valiosa RR foram semeados 120 dias após a aplicação dos herbicidas, com espaçamento de 0,50 m e população de 70 e 240 mil plantas por hectare, respectivamente. Em cada experimento, cada parcela experimental correspondeu a seis linhas de 5 m de cada cultura, sendo descartada uma linha de cada borda e um metro de comprimento em cada extremidade, perfazendo 6 m² de parcela útil.

A adubação de plantio e cobertura constou de 200 kg ha⁻¹ de fosfato monoamônico (MAP) e 100 kg ha⁻¹ de ureia, respectivamente, sendo a ureia aplicada apenas no milho. Utilizou-se um sistema de irrigação por aspersão e realizou-se o manejo fitossanitário das culturas conforme sua necessidade e recomendação específicas.

Avaliações de índice *Soil Plant Analysis Development* (SPAD) foram realizadas aos 30 e 90 dias após a semeadura (DAS), com clorofilômetro portátil Falker. No milho, as avaliações ocorreram na terceira folha completamente expandida, do ápice para base, e na soja, no folíolo central do terceiro trifólio totalmente expandido, contado do ápice para base, em oito plantas por parcela para ambas. Aos 30 DAS o milho encontrava-se no estágio V4-V6 e a soja em V3-V5, e aos 90 DAS, nos estádios R3-R5 e R4-R7, respectivamente. Aos 35 DAS foram coletadas oito plantas de milho (V4-V6) e 16 plantas de soja (V3-V5) por parcela, para determinação da matéria seca da parte aérea. As amostras colhidas foram levadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até atingir peso constante.

Aos 110 DAS foram colhidas manualmente as plantas de cada parcela útil da soja e aos 130 DAS, as espigas de milho, para estimativa da produtividade de grãos. Após a colheita do milho utilizou-se uma trilhadora para separação dos grãos. Para a soja foi determinado também o número de grãos e de vagens por planta e o peso de mil grãos.

Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA ($p > 0,05$) e as médias, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

3 Resultados e Discussão

Os herbicidas causaram alterações do índice SPAD das culturas avaliadas, com exceção da Atrazine para o milho, nas duas épocas avaliadas (Tabela 2). Esse resultado era esperado, visto que a Atrazine é um herbicida utilizado em pré e pós-emergência do milho, cuja seletividade é baseada na capacidade da planta de milho de metabolizar esta molécula através de reações de hidroxilação, dealquilação e conjugação por ação de benzoxazinonas (Oliveira Júnior, 2011). Aos 30 DAS, o herbicida Flumioxazin também não diferenciou da testemunha.

O residual da Mistura DHS causou a maior redução do índice SPAD do milho, na avaliação aos 30 DAS (Tabela 2). Aos 90 DAS, o índice SPAD de folhas de milho foi reduzido em média em 14,7% pelos herbicidas Flumioxazin, Metribuzin e Mistura DHS (Tabela 2). Essas reduções do índice SPAD ocorreram devido aos sintomas característicos desses herbicidas, decorrentes de seu modo de ação, como clorose e necrose foliar, que causam redução da intensidade do verde das folhas. O Flumioxazin é um herbicida inibidor da enzima Protox, que atua na oxidação de protoporfirinogênio IX a protoporfirina IX, precursores da biossíntese da clorofila. Essa inibição causa a formação de espécies reativas de oxigênio e a peroxidação de lipídeos. Já o Metribuzin e as duas moléculas da Mistura DHS, Diuron e Hexazinone, inibem o fluxo de elétrons do fotossistema II, causando a peroxidação de lipídeos, destruindo membranas e a clorofila (Oliveira Júnior, 2011).

Tabela 2. Índice SPAD de folhas de milho e de soja cultivados em solo com residual de herbicidas, em duas épocas de avaliação. Rio Paranaíba, 2015.**Table 2.** SPAD index of corn and soybean leaves cultivated in soil with residual herbicides, in two evaluation periods. Rio Paranaíba, 2015.

Tratamentos	Milho		Soja	
	30 DAS	90 DAS	30 DAS	90 DAS
Controle	56,91 a	49,23 a	50,29 a	44,21 a
Atrazine	54,02 ab	47,93 a	43,80 c	29,92 bc
Flumioxazin	54,10 ab	41,74 b	47,86 ab	36,35 b
Metribuzin	53,08 b	42,79 b	44,25 bc	33,21 b
Mistura DHS ¹	48,33 c	41,44 b	42,55 c	24,21 c
CV (%)	3,10	4,63	3,85	10,27

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). DAS: dias após a semeadura. ¹ DHS – Diuron, Hexazinone e Sulfometuron-methyl.

O índice SPAD, que analisa em tempo real a intensidade do verde das folhas, apresentou correlação positiva e significativa com o teor de clorofila em plantas de milho e soja (Argenta et al., 2001; Teklić et al., 2009). Dessa forma, sendo os mecanismos de ação dos herbicidas estudados relacionados à inibição da síntese (Flumioxazin) e/ou à destruição das clorofilas (Atrazine, Metribuzin, Diuron e Hexazinone) das plantas expostas a resíduos destes, justifica-se a alteração dessa variável.

O índice SPAD da soja foi reduzido em média 15% aos 30 DAS, pela presença de Atrazine, Metribuzin e Mistura DHS no solo. Na avaliação do índice SPAD realizada aos 90 DAS na cultura da soja, o herbicida Atrazine e a Mistura DHS causaram maior redução, da ordem de 39% (Tabela 2). Esse resultado já era esperado, uma vez que esses herbicidas não são seletivos

para a soja. Cayon et al. (1990) verificaram uma diminuição do teor de clorofila da soja pelo Imazaquin, herbicida de mesmo mecanismo de ação do Sulfometuron-methyl, que compõe a Mistura DHS, em doses acima de 0,75 kg i.a. ha⁻¹.

Clorofilômetros portáteis têm sido utilizados em estudos com herbicidas em diferentes culturas no sentido de respaldar as avaliações visuais de fitotoxicidade (Brighenti, 2012; Arantes et al., 2013; Assunção et al., 2017), como utilizado neste estudo. Embora em campo não tenha sido possível visualizar sintomas de fitotoxicidade, o índice SPAD constituiu em boa ferramenta para detectar alteração na intensidade do verde das folhas causada pela presença de resíduos desses herbicidas no solo.

Os resultados de matéria seca da parte aérea (MSPA) foram semelhantes aos de produtividade para ambas as culturas (Tabela 3). Para a cultura do milho não foi verificado efeito residual de Atrazine e Metribuzin sobre a MSPA e a produtividade, sendo ambas variáveis reduzidas pela presença de resíduos de Flumioxazin e da Mistura DHS no solo. Não foram encontrados relatos na literatura sobre *carryover* de Flumioxazin sobre o milho. Em contraste ao observado neste estudo, outros trabalhos não evidenciaram injúrias nem alteração da matéria seca e da produtividade do milho (Dan et al., 2012) e do sorgo (Dan et al., 2010) cultivados em sucessão a soja, em área que recebeu aplicação de 0,05 kg ha⁻¹ de Flumioxazin em pré e pós-emergência, respectivamente.

Tabela 3. Matéria seca da parte aérea (MSPA) e produtividade das culturas do milho e da soja, cultivados em solo com residual de herbicidas. Rio Paranaíba, 2015.

Table 3. Shoot dry matter and yield of maize and soybean cultivated in soil with herbicide residual. Rio Paranaíba, 2015.

Tratamentos	Milho		Soja	
	MSPA ¹ (g)	Produtividade (t ha ⁻¹)	MSPA ¹ (g)	Produtividade (t ha ⁻¹)
Controle	26,13 a	9,20 a	9,59 a	1,55 a
Atrazine	19,92 ab	7,54 ab	6,74 b	1,23 b
Flumioxazin	14,54 b	6,90 bc	5,94 b	1,05 b
Metribuzin	19,96 ab	7,34 ab	7,77 ab	1,11 b
Mistura DHS	19,02 b	5,16 c	6,09 b	0,76 c
CV (%)	14,14	12,01	15,03	11,36

¹ MSPA: matéria seca da parte aérea. Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

O Metribuzin não alterou a MSPA da soja, comparada à testemunha, enquanto os demais herbicidas diminuíram esta variável. A produtividade foi reduzida por todos, inclusive o Metribuzin, que é registrado para aplicação em pré-emergência da cultura (Tabela 3). A redução de produtividade pelo Metribuzin pode estar associada à existência de tolerância diferencial de cultivares à molécula (Velloso & Fleck, 1980) e a possíveis danos à qualidade fisiológica das sementes proporcionada pela aplicação em pré-emergência (Moraes et al., 1997). Segundo esses autores, o efeito residual de Metribuzin aplicado em pré-emergência pode piorar o desempenho da semente em seu estabelecimento no campo. Efeito residual de Atrazine em mistura com outros herbicidas aplicados na cultura do milho foi evidenciado sobre a soja, causando injúria nas folhas, reduzindo a biomassa e a

produtividade (Soltani et al., 2011). Tais efeitos foram maiores à medida que diminuiu o intervalo entre a aplicação do herbicida e a semeadura da soja (Soltani et al., 2011).

Plantas de milho cultivadas em solo com Flumioxazin e Mistura DHS aplicados tiveram a produtividade reduzida em 35%. Na cultura da soja, a atividade residual da Mistura DHS foi a que mais afetou negativamente a produtividade de grãos, reduzindo-a em 51% (Tabela 3). Tal resultado reforça que essa mistura de herbicidas é altamente persistente no solo (DuPont do Brasil, 2018) e necessita de um intervalo de segurança superior a 150 dias para o cultivo de espécies sensíveis em sucessão. A Mistura DHS possui em sua composição além do Diuron e Hexazinone, que são consideradas moléculas moderadamente persistentes (PPDB, 2018), um herbicida inibidor da enzima ALS, Sulfometuron-methyl, a qual atua na síntese de aminoácidos essenciais de cadeia ramificada (leucina, isoleucina e valina), fazendo com que a planta suscetível paralise seu crescimento (Oliveira Júnior, 2011), podendo acarretar em perdas de produtividade. Acredita-se, neste trabalho, que tal molécula possa contribuir substancialmente para maior persistência e efeito tóxico causados pela mistura nas culturas do milho e da soja.

Estudos com outras moléculas inibidoras da ALS buscaram avaliar o efeito residual dessas sobre culturas graníferas. *Carryover* de herbicidas inibidores da enzima ALS sobre o milho cultivado em sucessão à soja foi evidenciado com diminuição da produtividade, quando a semeadura ocorreu até 60 dias após a aplicação (Artuzi & Contiero, 2006). Dan et al. (2011) constataram redução da matéria seca e da produtividade do milho cultivado em sucessão a soja causado pelo Chlorimuron-ethyl e Imazethapyr, de mesmo mecanismo de ação do Sulfometuron-methyl. Segundo Gonçalves et al. (2001), o Imazapyr, herbicida de mesmo mecanismo de ação, diminuiu a produtividade do feijoeiro em até mesmo 98 dias após sua aplicação, de acordo com as doses do herbicida. A produtividade de soja plantada em sistema de rotação de culturas, após 110 dias da aplicação de herbicidas inibidores da ALS na cultura do trigo, foi reduzida em até 76,4% pelo residual de Chlorsulfuron + Metsulfuron no solo (Grey et al., 2012).

Os resultados encontrados para matéria seca da parte aérea e produtividade das culturas estão diretamente relacionados com aqueles observados no índice SPAD. A redução da intensidade do verde verificada no limbo foliar das plantas reflete a fitotoxicidade, embora não aparente, provocada pelo herbicida e esta consequentemente pode ter comprometido a capacidade fotossintética da planta, resultando em redução do acúmulo de biomassa e da produção de grãos.

A aplicação de todos os herbicidas estudados causou redução das variáveis número de grãos por planta, número de vagem por planta e peso de mil grãos da soja (Tabela 4), indicando que tais componentes produtivos da cultura sofreram diminuição devido à fitotoxicidade causada pelo residual de herbicidas no solo.

De maneira geral, os resultados encontrados podem ser explicados pela dinâmica dos herbicidas no solo. Diuron é um herbicida não iônico e permanece em sua forma molecular na solução do solo (Oliveira & Brighenti, 2011). Herbicidas iônicos de caráter básico fraco como Atrazine e Hexazinone, cujos pK_a são de 1,7 e 2,2, respectivamente, e de caráter ácido como Metribuzin (pK_a = 0,99) e Sulfometuron-methyl (pK_a = 3,75) (PPDB, 2018), são influenciados pelo pH do solo.

Em condições de pH do solo maior do que o pK_a dos herbicidas, a exemplo do solo em estudo ($pH = 5,2$), estes predominam na forma molecular e aniônica para os herbicidas básicos e ácidos, respectivamente, com baixa retenção aos colóides do solo (Oliveira & Brighenti, 2011). Tal comportamento possibilita maior disponibilidade dos herbicidas em solução no solo, e consequentemente para sua absorção pelas culturas, resultando em prejuízos conforme verificado neste estudo.

Tabela 4. Número de grãos por planta, número de vagens por planta e peso de mil grãos na cultura da soja cultivada em solo com residual de herbicida. Rio Paranaíba, 2015.

Table 4. Number of grains per plant, number of pods per plant and weight of one thousand grains in soybean crop cultivated in soil with herbicide residual. Rio Paranaíba, 2015.

Tratamentos	Nº Grãos/planta	Nº Vagem/planta	Peso de mil grãos (g)
Controle	52,44 a	29,98 a	145,15 a
Atrazine	35,56 b	21,15 b	126,83 b
Flumioxazin	34,24 b	20,37 b	134,53 b
Metribuzin	32,10 b	18,72 b	125,10 b
Mistura DHS	28,84 b	17,75 b	127,58 b
CV (%)	15,37	12,66	3,39

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Para todas as variáveis analisadas em ambos os experimentos, notou-se que a presença de resíduos de herbicidas no solo causou algum tipo de injúria nas plantas cultivadas. Portanto, estudos acerca do tempo de permanência, da quantidade e de potenciais danos desses resíduos no solo devem ser realizados a fim de determinar-se o intervalo e a dose de segurança de cada herbicida para cada cultura inserida em sistemas de rotação, para que estes não causem redução de produtividade e da qualidade do produto colhido.

4 Conclusões

O efeito residual de Atrazine, Metribuzin, Flumioxazin e da Mistura DHS no solo causam efeitos tóxicos à cultura da soja e do milho cultivados em sucessão, com decréscimos de produtividade. A presença da Mistura DHS (Diuron, Hexazinone e Sulfometuron-methyl) no solo provoca maiores reduções das variáveis analisadas tanto na cultura do milho quanto da soja.

A persistência dos herbicidas no solo é uma importante característica a ser considerada nos sistemas de produção agrícola, uma vez que a atividade residual desses pode comprometer o desenvolvimento e a produção das culturas sensíveis em rotação.

Referências

ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. L.; PINCELLI, R. P.; SILVA, M. A. Respostas fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar a herbicidas seletivos. *Bioscience Journal*, v. 29, n. 5, p. 1206-1214, 2013.

ARCHANGELO, E. R.; PRATES, H. T.; FERREIRA, F. A.; KARAM, D.; FERREIRA, L. R.; CARDOSO, A. A. Sorção, dessorção e potencial de lixiviação de Atrazine em solos brasileiros. *Revista Brasileira de*

Milho e Sorgo, v. 4, n. 1, p. 14-27, 2005. doi: 10.18512/1980-6477/rbms.v4n1p14-27.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001. doi: 10.1590/S0103-31312001000200005.

ARTUZI, J. P.; CONTIERO, R. L. Herbicidas aplicados na soja e produtividade do milho em sucessão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n. 7, p. 1119-1123, 2006. doi: 10.1590/S0100-204X2006000700007.

ASSUNÇÃO, N. S.; GARCIA, H. A.; SANTOS, L. P. D.; DIAS, R. C.; MELO, C. A. D.; FERNANDES, F. L.; REIS, M. R. Seletividade do Flumioxazin ao trigo. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 16, n. 2, p. 122-129, 2017. doi: 10.7824/rbh.v16i2.514.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da safra brasileira: grãos*. Brasília, DF: Conab, 2017. v. 4, n. 12. 158 p. Disponível em: <<https://bit.ly/2wrFPBf>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agrofít: sistema de agrotóxicos fitossanitário. *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*, Brasília, DF, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2cQG6g>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

BRIGHENTI, A. M. Resistência do girassol a herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 42, n. 2, p. 225-230, 2012. doi: 10.1590/S1983-40632012000200014.

CARVALHO, F. T.; MORETTI, T. B.; SOUZA, P. A. Efeito do residual no solo de nicosulfuron isolado e em mistura com Atrazine sobre culturas agrícolas subsequentes. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 9, n. 1, p. 26-34, 2010. doi: 10.7824/rbh.v9i1.76.

CAYON, D. G.; LOPES, N. F.; OLIVA, M. A.; JOSÉ, F. S. Teores de clorofilas e de proteína bruta em soja (*Glycine max* (L.) Merrill) tratada com imazaquin. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 2, n. 1, p. 33-40, 1990.

DAN, H. A.; DAN, L. G. M.; BARROSO, A. L. L.; PROCÓPIO, S. O.; OLIVEIRA JR, R. S.; ASSIS, R. L.; SILVA, A. G.; LIMA, M. D. B.; FELDKIRCHER, C. Residual activity of herbicides used in soybean agriculture on grain sorghum crop succession. *Planta Daninha*, v. 28, n. spe, p. 1087-1095, 2010.

DAN, H. A.; DAN, L. G. M.; BARROSO, A. L. L.; PROCÓPIO, S. O.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; ASSIS, R. L.; SILVA, A. G.; FELDKIRCHER, C. Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milheto cultivado em sucessão. *Planta Daninha*, v. 29, n. 2, p. 437-445, 2011. doi: 10.1590/S0100-83582011000200022.

DAN, H. A.; DAN, L. G. M.; BARROSO, A. L. L.; OLIVEIRA NETO, A. M.; GUERRA, N. Resíduos de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. *Caatinga*, v. 25, n. 1, p. 86-91, 2012.

DELMONTE, A. A.; BEDMAR, F.; MANTECÓN, J. D.; ECHEVERRÍA, H.; BARASSI, C. A. Persistence of the biocide activity of Atrazine in soils of the southeast of Buenos Aires Province. *Planta Daninha*, v. 14, n. 2, p. 110-117, 1996. doi: 10.1590/S0100-83581996000200004.

DUPONT DO BRASIL. *Front*: bula. Barueri: DuPont, 2018. 8 p. Disponível em: <<https://bit.ly/2w0kPvi>>. Acesso em: 17 fev. 2018.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.
- FERRELL, J. A.; VENCILL, W. K.; XIA, K.; GREY, T. L. Sorption and desorption of flumioxazin to soil, clay minerals and ion-exchange resin. *Pest Management Science*, v. 61, n. 1, p. 40-46, 2005. doi: 10.1002/ps.956.
- FUSCALDO, F.; BEDMAR, F.; MONTERUBBIANESI, G. Persistence of Atrazine, Metribuzin and simazine herbicides in two soils. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 11, p. 2037-2044, 1999. doi: 10.1590/S0100-204X1999001100009.
- FURLAN, R. G.; MARTINS, J. F.; SANTOS, J. I.; ALVES, P. L. C. A. Simulação do efeito residual da Atrazine em cenoura. *Horticultura Brasileira*, v. 34, n. 4, p. 584-587, 2016. doi: 10.1590/s0102-053620160420.
- GIANCOTTI, P. R. F.; TOLEDO, R. E. B.; ALVES, P. L. C. A.; VICTORIA FILHO, R.; NEGRISOLI, E.; CASON, J. B.; ALVES, S. N. R.; ROCHA, M. G. Eficácia de herbicidas em condições controladas para o controle de gramíneas infestantes de canaviais em estiação. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 11, n. 3, p. 269-275, 2012. doi: 10.7824/rbh.v11i3.202.
- GONÇALVES, A. H.; SILVA, J. B.; LUNKES, J. A. Controle de tiririca (*Cyperus rotundus*) e efeito residual sobre a cultura do feijão do herbicida imazapyr. *Planta Daninha*, v. 19, n. 3, p. 435-443, 2001. doi: 10.1590/S0100-83582001000300017.
- GREY, T. L.; BO BRAXTON, L. RICHBURG, J. S. Effect of wheat herbicide carryover on double-crop cotton and soybean. *Weed Technology*, v. 26, n. 2, p. 207-212, 2012. doi: 10.1614/WT-D-11-00143.1.
- HEAP, I. *The International Survey of Herbicide Resistant Weeds*, [S. l.], 27 ago. 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2wkTYAZ>. Acesso em: 20 fev. 2018.
- JAREMTCHUK, C. C.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; ALONSO, D. G.; ARANTES, J. G. Z.; BIFFE, D. F.; ROSO, A. C.; CAVALIERI, S. D. Efeito residual de Flumioxazin sobre a emergência de plantas daninhas em solos de texturas distintas. *Planta Daninha*, v. 27, n. 1, p. 191-196, 2009. doi: 10.1590/S0100-83582009000100024.
- 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. DOI: 10.7824/rbh.v10i2.106.
- MORAES, D. M.; SANTOS FILHO, B. G.; VILLELA, F. A.; SANTOS, D. S. B. Efeito do Metribuzin sobre a qualidade fisiológica de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 19, n. 2, p. 159-163, 1997. doi: 10.17801/0101-3122/rbs.v19n2p159-163.
- OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Ed.). *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: Ompipax, 2011. p. 263-304.
- OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. Mecanismos de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Ed.). *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: Ompipax, 2011. p. 141-192.
- PPDB: Pesticide Properties Database, Hertfordshire, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2wui8h7>. Acesso em: 20 fev. 2018.
- SILVA JÚNIOR, A. C.; QUEIROZ, J. R. G.; MARTINS, D. Quantidade de chuva e lixiviação do herbicida Metribuzin através de planta bioindicadora. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 6, p. 592-597, 2015. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n6p592-597.
- SOLTANI, N.; MASHHADI, R. H.; MESGARAN, M. B.; COWBROUGH, M.; TARDIF, F. J.; CHANDLER, K.; SWANTON, C. J.; SIKKEMA, P. H. The effect of residual corn herbicides on injury and yield of soybean seeded in the same season. *Canadian Journal of Plant Science*, v. 91, n. 3, p. 571-576, 2011. doi: 10.4141/cjps10110.
- TEKLIĆ, T.; VRATARIĆ, M.; SUDARIĆ, A.; KOVAČEVIĆ, V.; VUKADINOVIĆ, V.; BERTIĆ, B. Relationships among chloroplast pigments concentration and chlorophyllmeter readings in soybean under influence of foliar magnesium application. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 40, n. 1-6, p. 706-725, 2009. Supplement. doi: 10.1080/00103620802697939.
- VELLOSO, J. A. R. O.; FLECK, N. G. Comportamento de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] em resposta a diferentes épocas de aplicação do Metribuzin. *Planta Daninha*, v. 3, n. 1, p. 35-40, 1980. doi: 10.1590/S0100-83581980000100006.
- WALPERES; K. C.; REIS, M. R.; CARNEIRO, G. D. O. P.; ROCHA, B. H.; DIAS, R. C.; MELO, C. A. D.; GONÇALVES, C. G. Residual effect of Metribuzin in the soil on the growth of garlic, onion and beans. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 14, n. 1, p. 64-72, 2015. doi: 10.7824/rbh.v14i1.390.
- WILCUT, J. W.; ASKEW, S. D.; BAILEY, W. A.; SPEARS, J. F.; ISLEIB, T. G. Virginia market-type peanut (*Arachis hypogaea*) cultivar tolerance and yield response to Flumioxazin pre-emergence. *Weed Technology*, v. 15, n. 1, p. 137-140, 2001. doi: 10.1614/0890-037X(2001)015[0137:VMTPAH]2.0.CO;2.

Contribuição dos autores: Felipe Augusto Reis Gonçalves, Paulo César de Queiroz e Ricardo Tsuyoshi Endo realizaram a montagem, condução e avaliação do experimento, além de ajudar com a redação científica; Christiane Augusta Diniz Melo e Daniel Valadão da Silva contribuíram com análises estatísticas, revisão bibliográfica, ortográfica e gramatical e redação científica; Marcelo Rodrigues dos Reis orientou e supervisionou os estudantes em todas as etapas, além de contribuir na revisão e redação científica.

Agradecimentos: Os autores agradecem a Universidade Federal de Viçosa (UFV), campus de Rio Paranaíba, por possibilitar a realização desta pesquisa no campo experimental da instituição.

Fontes de financiamento: Não houve fonte de financiamento.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.