Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Residual de herbicidas aplicados na cultura de soja sobre cultivos subsequentes

Pablo Alves de Sousa

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2022

Pablo Alves de Sousa
Engenheiro Agrônomo

Residual de herbicidas aplicados na cultura da soja sobre cultivos subsequentes

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **PEDRO JACOB CHRISTOFFOLETI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Sousa, Pablo Alves de

Residual de herbicidas aplicados na cultura da soja sobre cultivos subsequentes / Pablo Alves de Sousa. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2022.

75 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Carryover 2. Culturas em sucessão 3. Espécies de cobertura 4. Bioensaio I. Título

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais Francisco Mauro de Sousa e Vera Lúcia Alves de Sousa, por todo o esforço, ensinamentos, lições e momentos vividos que me fizeram ser a pessoa que sou hoje.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Francisco Mauro de Sousa e Vera Lúcia Alves da Silva e meus irmãos Lucas Alves de Sousa e Tiago Gil Alves de Sousa, pelo imenso carinho, aconchego e por acreditarem no meu potencial.

À minha namorada Maria Vanessa Vieira da Costa pelo amor, companheirismo e felicidade, minha eterna fonte de força para vencer.

Aos meus familiares por todo o apoio, fundamental para meu sucesso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Pedro Jacob Christoffoleti pela paciência, apoio e ensinamentos, fundamentais para meu crescimento profissional.

Aos meus amigos de Piracicaba, por toda ajuda e companheirismo durante estes anos de mestrado.

A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" pela oportunidade de crescimento profissional, em especial ao Programa de Fitotecnia, pela oportunidade de realizar este trabalho.

A CAPES pela conceção da bolsa, fundamental para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO 7
ABSTRACT 9
1. INTRODUÇÃO GERAL 11
Referências 12
2. REVISÃO DE LITERATURA 13
2.1. Cultivo de soja aliado a sucessão de culturas 13
2.2. Uso de plantas de cobertura durante o inverno 14
2.3. Herbicidas residuais empregados no cultivo de soja 15
2.4. Persistência de herbicidas no solo 16
2.5. Fitotoxicidade de herbicidas sobre culturas em sucessão 17
2.6. Estudo dos resíduos de herbicidas no solo através de bioensaio 18
Referências 20
3. RESIDUAL DE HERBICIDAS APLICADOS NA SOJA SOBRE CULTURAS EM SUCESSÃO 27
Resumo 27
Abstract 27
3.1. Introdução 28
3.2. Material e Métodos 29
3.3. Resultados e Discussão 30
3.3.1. Sucessão com algodão 30
3.3.2. Sucessão com milho 33
3.3.3. Sucessão com girassol 35
3.3.4. Sucessão com sorgo 38
3.3.5. Avaliação área foliar e massa seca 40
3.4. Conclusões 44
Referências 45
4. RESIDUAL DE HERBICIDAS APLICADOS NA SOJA SOBRE ESPÉCIES DE COBERTURA DE INVERNO 47
Resumo 47
Abstract 47
4.1. Introdução 48
4.2. Material e Métodos 49

4.3. Resultados e Discussão 50
4.3.1. Sucessão com braquiária 50
4.3.2. Sucessão com milheto 53
4.3.3. Sucessão com aveia-preta 56
4.3.4. Sucessão com tremoço-branco 58
4.3.5. Avaliação massa seca 60
4.4. Conclusões 63
Referências 63
5. ESTUDO DA PRESENÇA DE HERBICIDAS NO SOLO ATRAVÉS DO USO DE BIOENSAIOS COM ESPÉCIES SENSÍVEIS 67
Resumo 67
Abstract 67
5.1. Introdução 68
5.2. Material e Métodos 69
5.3. Resultados e Discussão 71
5.4. Conclusões 72
Referências 72
6. CONSIDERAÇÕES GERAIS 75

RESUMO

Residual de herbicidas aplicados na cultura da soja sobre cultivos subsequentes

O sistema de produção empregado atualmente na grande maioria das lavouras brasileiras baseia-se em um cultivo de soja em primeira safra, seguido por um cultivo em sucessão com outras culturas. Dentro deste cenário, o uso de herbicidas na soja com longo efeito residual no solo pode acarretar em problemas aos cultivos subsequentes através dos resíduos que venham a permanecer no solo. Diante desta problemática o presente trabalho objetivou avaliar os efeitos fitotóxicos em decorrência do carryover dos herbicidas pré-emergentes (diclosulam, sulfentrazone) e pós-emergêntes (imazethapyr, fomesafen) quando empregados no cultivo de soja, através do impacto em cultivos subsequentes. Foram desenvolvidos oito ensaios em casa de vegetação, sendo quatro destes realizados em vasos de 8 L distribuídos no delineamento em blocos casualizados, preenchidos com solo de textura média arenosa, no qual foi simulado o cultivo de soja com a aplicação dos herbicidas diclosulam (35 $g.ha^{-1}$), sulfentrazone (400 $g.ha^{-1}$), imazethapyr (100 $g.ha^{-1}$) ou fomesafen (250 $g.ha^{-1}$), além da testemunha sem aplicação. Após a colheita da soja realizou-se a semeadura de quatro culturas: algodão, girassol, milho e sorgo. Foram realizadas avaliações de fitotoxicidade, altura de planta e teor de clorofila aos 7,15,30 e 60 dias após a emergência (DAE), e aos 80 DAE as plantas foram coletadas para avaliação de área foliar e massa seca. Concluiu-se que o herbicida diclosulam apresenta elevado potencial de carryover para as sucessões soja-algodão e soja-girassol, assim como os herbicidas sulfentrazone, imazethapir e fomesafen apresentaram potencial carryover para a cultura do sorgo semeado após a soja. Apenas a sucessão soja-milho apresentou desenvolvimento satisfatório em todos os tratamentos herbicidas. Os outros quatro ensaios foram realizados em vasos de 1,5 L distribuídos no delineamento inteiramente casualizado, preenchidos com solo argiloso que foi obtido de campo experimental onde inicialmente foi simulado o cultivo de soja com o emprego dos herbicidas diclosulam (35 $g.ha^{-1}$), sulfentrazone (600 $g.ha^{-1}$), imazethapyr (100 g ha^{-1}) ou fomesafen (250 $g.ha^{-1}$), além da testemunha sem aplicação, 60 dias após a colheita da soja realizou-se a semeadura das espécies de cobertura: milheto (*Pennisetum glaucum ssp. glaucum L.*), braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), aveia-preta (*Avena strigosa*) e tremoço-branco (*Lupinus albus*). Durante a condução dos experimentos foram realizadas avaliações de fitotoxicidade, altura de planta e teor de clorofila aos 7, 14 e 21 DAE e a coleta das plantas para determinação de massa seca aos 21 DAE. Concluiu-se que os herbicidas diclosulam, sulfentrazone e imazethapyr apresentam potencial carryover sobre o cultivo da *Brachiaria ruziziensis* e aveia-preta em sucessão a soja. Todos os quatro herbicidas demonstraram potencial carryover para o milheto semeado 180 dias após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes. Em contrapartida, para a cultura do tremoço-branco não foi observado efeito carryover dos herbicidas empregados no presente trabalho. Paralelamente realizou-se quatro bioensaios em casa de vegetação arranjados no delineamento inteiramente casualizado, um para cada herbicida estudado, onde as parcelas experimentais foram compostas por vasos de plástico com capacidade para 0,3 L, preenchidos com solos de textura argilosa e médio arenoso coletados logo após a colheita da soja de ambos os ensaios com cultivos em sucessão. Foram coletadas 4 amostras de solo em cada ensaio, duas amostras foram retiradas de campo com solo de textura argilosa, sendo elas de 0-20cm e 20-40cm de profundidade, e a terceira amostra foi coletada de vasos com solo de textura média arenosa, além da testemunha sem aplicação. Em seguida foram semeadas as espécies bioindicadoras, colocando 3 sementes por vaso. Aos 14 DAE realizou-se a coleta das parcelas para determinação da massa seca. No bioensaio com diclosulam observou-se a presença dos resíduos dos herbicidas apenas no solo argiloso em profundidade de 20-40cm. Já nos biotestes com sulfentrazone e fomesafen a presença dos resíduos foram observadas somente nas amostras de solo argiloso. Apenas no

bioensaio com o imazethapyr foi observado a presença de resíduos do herbicida em todas as três amostras de solo.

Palavras-chave: Carryover, Culturas em sucessão, Espécies de cobertura, Bioensaio

ABSTRACT

Residual of herbicides applied in soybean culture on subsequent crops

The production system currently employed in the vast majority of brazilian plantations is based on a first-crop soybean, followed by a succession with other crops. In this contexto, the use of herbicides on soybeans with a long residual effect on the soil can cause problems for subsequente crops through the residues that remain in the soil. In face of this problem, the presente work aimed to evaluate the phytotoxic effects due to the carryover of pre-emergent (diclosulam, sulfentrazone) and post-emergent (imazethapyr, fomesafen) herbicides when used in soybean crops, through the impact on subsequent crops. Eight experiments were developed in the greenhouse, four of them in 8 L pots distributed in a randomized block design, filled with medium texture sandy soil, which soybean crop was simulated with the application of the herbicides diclosulam (35 g.ha-1), sulfentrazone (400 g.ha-1), imazethapyr (100 g.ha-1) or fomesafen (250 g.ha-1), in addition to the control with no application. After the soybean harvest, four crops were sown: cotton, sunflower, corn and sorghum. Phytotoxicity, plant height and chlorophyll contest were evaluated at 7, 15, 30 and 60 days after emergence (DAE), anda t 80 DAE the plants were collected for evaluation of leaf area and dry mass. It was concluded that the herbicide diclosulam shows high carryover potencial for soybean-cotton and soybean-sunflower successions, and the herbicides sulfentrazone, imazethapyr and fomesafen showed carryover potencial for sorghum crop sown after soybean. Only the soybean-corn succession showed satisfactory development in all herbicides treatments. The other four experimentos were conduced in 1,5 L vases distrubuted in na entirely randomized design, filled with clay soil from na experimental field where soybean cultivation was initially simulated with the use of herbicides diclosulam (35 g.ha-1), sulfentrazone (600 g.ha-1), imazethapyr (100 g.ha-1) or fomesafen (250 g.ha-1), and a control without application, 60days after the soybean harvest, the cover crops were sown: millet (*Pennisetum glaucum ssp. glaucum L.*), brachiaria (*Brachiaria ruziziensis*), black oats (*Avena strigosa*) and white lupins (*Lupinus albus*). During the experiments, phytotoxicity, plant height and chlorophyll content were evaluated at 7, 14 and 21 DAE and the plants were collected for dry mass determination at 21 DAE. It was concluded that herbicides diclosulam, sulfentrazone and imazethapyr show potencial carryover on *Brachiaria ruziziensis* and black oat in siccession to soybean. All four herbicides showed carryover potencial for millet sown 180 days after the application of pre-emergent herbicides. On the other hand, for White lupin no carryover effect of the herbicides used in this work was observed. In parallel, four bioassays were conducted in the greenhouse in an entirely randomized design, one for each herbicide studied, where the experimental plots were composed of plastic pots with a capacity of 0.3 L, filled with clayey and medium sandy soils collected soon after the soybean harvest of both tests with succession crops. Four soil samples were obtained in each experiment, two samples were collected from the field with clayey soil at a depth of 0-20cm and 20-40cm, and the third sample was collected from pots with sandy medium textured soil, in addition to the control without application. The bioindicator species were then sown, with 3 seeds per pot. At 14 DAE the plots were collected to determine their dry mass. In the bioassay with diclosulam we observed the presence of herbicide residues only in the clay soil at a depth of 20-40cm. In the sulfentrazone and fomesafen biotests, residues were observed only in the clay soil samples. Only in the bioassay with imazethapyr was the presence of residues of the herbicide observed in all three soil samples.

Keywords: Carryover, Succession crops, Cover crops, Bioassay

1. INTRODUÇÃO GERAL

Em virtude das condições tropicais, os sistemas de produção atualmente utilizados no Brasil permitem aos produtores alcançarem sucessivas safras junto a altas produtividades, como o cultivo de soja com sucessão de milho, algodão, girassol e outras culturas em um mesmo ano agrícola. Isso se tornou possível principalmente devido à utilização de variedades de soja precoce, aliada a técnicas de antecipação de colheita. A possibilidade de realizar duas safras, e em algumas regiões uma cultura de inverno, em um mesmo ano agrícola, além de aumentar a produção por área, apresenta outras vantagens, como os efeitos positivos com a interrupção de ciclos de vida de pragas e de doenças e a melhoria da qualidade do solo (GONÇALVES *et al.*, 2018), além de um ganho financeiro maior (SOUZA *et al.*, 2020).

Os benefícios proporcionados pela sucessão de cultura citados anteriormente são, em sua maioria, ampliados quando após a safra seja semeado plantas de cobertura, que apesar de não trazer uma receita pela colheita, favorecem as propriedades físicas do solo, além de promover condições satisfatórias para o pleno desenvolvimento da cultura comercial em sucessão, aumentando sua produtividade (ANSCHAU *et al.*, 2018). Além disso, podem contribuir no controle de plantas daninhas, Nascente *et al.* (2019) avaliando espécies de cobertura, observaram que o cultivo de mix de plantas de cobertura proporcionou uma redução de 98,9% na produção de massa seca da parte aérea de plantas daninhas.

Contudo o encurtamento do período entre aplicações de herbicidas e semeadura de segunda safra ou plantio de inverno amplia o risco de causar injúrias por ação dos resíduos de herbicidas ainda ativos no solo, fenômeno esse denominado de "carryover". Segundo Oliveira (2001) carryover é a habilidade que um herbicida tem de manter a integridade de sua molécula e, consequentemente, suas características físico-químicas e funcionais no ambiente. O potencial do carryover oscila em função do herbicida utilizado, a dose, da cultura em sucessão e das condições ambientais após a aplicação (MANCUSO *et al.*, 2011).

Depois de aplicados, os herbicidas podem atingir o solo, iniciando um processo de redistribuição e degradação, no qual pode ser extremamente curto ou persistir por longos período, sendo a umidade um fator de extrema influência em todos esses processos (MATTE *et al.*, 2018). Durante o processo de degradação existem diversos meios físico-químicos atuando nas moléculas, sendo a hidrólise química responsável pelo início das atividades degradativas que ocorrem no solo, o que torna essa reação indispensável para os processos de transformação das moléculas no solo (MONQUERO *et al.*, 2013). Mesmo com algumas informações sobre degradação dos herbicidas no solo, em razão da grande diversidade de fatores envolvidos, torna difícil determinar com exatidão o período de permanência do herbicida no ambiente.

Apesar de ser um problema cada vez mais comum na agricultura brasileira, informações consistentes sobre o carryover dos herbicidas aplicados em cultivos de sucessão são escassas. Como alternativa durante a definição de culturas sucessoras, recomenda-se respeitar o intervalo determinado na bula dos produtos ou optar por aquelas com menor ou sem sensibilidade aos herbicidas empregados na primeira safra. Contudo torna-se uma difícil escolha devido ao fato de alguns herbicidas apresentarem efeitos tóxicos em várias culturas, como está demonstrado em pesquisa realizada por Carvalho *et al.* (2010), trabalhando com a avaliação do efeito residual dos herbicidas nicosulfuron isolado e nicosulfuron + atrazine nas culturas da soja, feijão, algodão, pepino, girassol e arroz, constatou diversos problemas de fitotoxicidade. Comprovando a necessidade de se adquirir informações sobre o carryover de herbicidas em sucessão de culturas, pois serão decisivas para os produtores no planejamento do ano agrícola.

Diante da escassez de informações sobre as implicações do uso herbicidas em sucessão de culturas. O presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos fitotóxicos em decorrência do carryover dos herbicidas: diclosulam, imazethapyr, sulfentrazone e fomesafen quando empregados no cultivo de soja, através do impacto nas culturas sucessoras.

Referências

GONÇALVES, F. A. R. *et al.* Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da soja. **Rev. Cienc. Agrar**., Viçosa, v. 61, abr. 2018. DOI 10.22491/rca.2018.2570. Disponível em: http://dx.doi.org/10.22491/rca.2018.2570. Acesso em 17 de nov. 2021.

SOUZA, R. D. *et al.* **Avaliação econômica do cultivo da soja em rotação, sucessão e monocultivo de culturas**. Cruz Alta: Unicruz, v.2, n.9, 2020. 10p.

ANSCHAU, K. A. *et al.* Propriedades físicas do solo, características agronômicas e produtividade da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 3, p. 293-299, 2018.

NASCENTE, A. S. *et al.* Cultivo de plantas de cobertura na produção de biomassa de plantas daninhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 11., 2019, Balneário Camboriú. **Anais** [...]. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão (ALICE), 2019. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1111824/1/CNPAF2019cbaiasn2.pdf. Acesso em: 17 nov. 2021.

OLIVEIRA, M. F. Comportamento de Herbicidas no Ambiente. In: OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J (org). **Plantas Daninhas e seu Manejo**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 362p.

MANCUSO, M. A. C. *et al.* Efeito residual de herbicidas no solo ("Carryover"). **Rev. Bras. Herb.**, Londrina, v.10, n.2, p.151-164, ago. 2011. DOI 10.7824/rbh.v10i2.106. Disponível em: https://doi.org/10.7824/rbh.v10i2.106. Acesso em: 17 nov. 2021.

MATTE, W. D. *et al.* Efeito residual de herbicidas no sistema soja-algodão. In: GUIMARÃES, A. C. D. *et al.* (org.). Estratégia de manejo de plantas daninhas para novas fronteiras agrícolas. Curitiba, PR: **Editora da SBCPD**. Cáceres, MT: **Editora da Unemat**, 2018. Cap. 5, p. 70-81.

MONQUERO, P. A. *et al.* Persistência de imazaquim e diclosulam em função da umidade do solo. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 7, n. 3, p. 331-337, dez. 2013.

CARVALHO, F. T. *et al.* Efeito do residual no solo de nicosulfuron isolado e em mistura com atrazine sobre culturas agrícolas subsequentes. **Rev. Bras. Herb.**, Londrina, v. 9, n. 1, p. 26-34, abr. 2010. DOI 10.7824/rbh.v9i1.76. Disponível em: https://doi.org/10.7824/rbh.v9i1.76. Acesso em: 17 nov. 2021.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cultivo de soja aliado a sucessão de culturas

As condições tropicais encontradas no Brasil permitem aos produtores alcançarem sucessivas safras com altas produtividades, como o cultivo de soja com sucessão de milho, algodão, girassol e outras culturas em um mesmo ano agrícola. No estado do Mato Grosso do Sul a cultura da soja apresenta-se como a mais importante desde o início da expansão agrícola no estado, bem como o cultivo de milho de segunda safra, ou safrinha, destaca-se por ser o cereal mais cultivado em sucessão a soja (RICHETTI e LAMAS, 2019). Segundo dados da Conab (2021) estima-se para a safra 2021/22 uma produção de 288,6 milhões de toneladas de grãos, sendo a produção de soja estimada em 140,7 milhões de toneladas, acompanhada pelo milho com 116,3 milhões de toneladas. Duas culturas que juntas constituem aproximadamente 89% da produção nacional de grãos.

Um grande desafio para os atuais sistemas agrícolas está no equilíbrio entre aumento de produtividade e reduções na área de cultivo, levando a preservação do meio ambiente e possibilitando a renda aos agricultores (ROESCH-MCNALLY *et al.*, 2018). Neste quesito a sucessão de culturas, uma realidade na agricultura brasileira, evidencia-se como um importante passo para uma agricultura mais sustentável. Para possibilitar o cultivo das duas culturas em uma mesma safra, tornou-se então necessário a utilização de cultivares de soja de ciclo precoce e super precoce, que aliada as técnicas de antecipação de colheita reduzem o intervalo de tempo entre a aplicação de herbicidas na cultura da soja e a semeadura de espécies em cultivo subsequente (DAN, *et al.* 2012a).

A possibilidade realizar duas safras, e em algumas regiões uma cultura de inverno, em um mesmo ano agrícola além de aumentar a produção por área, apresenta outras vantagens, como os efeitos positivos com a interrupção de ciclos de vida de pragas e de doenças e a melhoria da qualidade do solo (GONÇALVES *et al.*, 2018), fechamento de janelas para novas infestações de plantas daninhas, em virtude da intensificação das práticas de manejo (CHRISTOFFOLETI *et al.*, 2018), protege o solo da erosão e melhora suas condições físicas, químicas e biológicas (CARVALHO *et al.*, 2007) e reduz o risco de produção dentro de um mesmo ano agrícola (SEDIYAMA, 2009).

Outra característica importante na implementação da sucessão de culturas está no âmbito financeiro, uma vez que cultivar duas safras em uma mesma área, possibilita ganhos mais expressivos. Rocha *et al.* (2019) avaliando a viabilidade econômica da sucessão soja / milho em Goiás observaram um cenário viável para essa sucessão. Assim como Santos *et al.* (2019) avaliando a sucessão soja / girassol observaram que os indicadores selecionados para o estudo comprovaram a viabilidade econômica da implantação desta sucessão no sudeste goiano.

A sucessão soja-milho apresenta elevada importância para a agricultura brasileira, visto que o milho de segunda safra, que em grande maioria das vezes é antecedido por cultivo de soja, representa cerca de 72% da produção total do milho nacional (CONAB, 2019). Sendo esta uma opção econômica depois da cultura de verão para maximizar os investimentos na produção e contribuir para o abastecimento de grãos na entressafra (RICHETTI; LAMAS, 2019). O cultivo de algodão em segunda safra também apresenta elevada importância, segundo Gheno (2013) na região Centro-Oeste os produtores viram na sucessão soja-algodão uma grande oportunidade de negócio. Sucesso evidenciado no levantamento de safra 20/21, no qual a região foi protagonista, apresentando maiores produções da cultura do algodão e da soja (CONAB, 2021).

Além dessas culturas principais, o cultivo de girassol apresenta-se como alternativa para sucessão a soja, sendo a safrinha de girassol uma ótima opção de grãos para a produção de óleo, tendo como atrativo um valor de mercado mais alto comparado com o do óleo de soja para alimentação humana (CAPONE *et al.* 2012). Como também

o cultivo de sorgo granífero, sendo este cultivado exclusivamente em safrinha, em sucessão a soja na região Centro-Oeste do Brasil (SILVA; FRANCISCHINI; GOULART, 2015), sendo uma boa alternativa principalmente quando em regiões susceptíveis a déficit hídrico.

2.2. Uso de plantas de cobertura durante o inverno

A agricultura atual enfrenta diversos desafios para torna-se cada vez mais sustentável ambientalmente e economicamente. Os sistemas de cultivo com menor diversificação exibem relativa fragilidade em relação a pragas, doenças, plantas daninhas, nematoides e conservação da superfície do solo, o que pode resultar em erosão e diminuição da matéria orgânica (HUNT *et al.*, 2019). Diante deste problema, uma excelente alternativa está na manutenção de uma massa vegetal sobre o solo através de plantas de cobertura, seja ela viva ou morta, durante o período em que não se encontra a cultura principal no campo.

As plantas de cobertura promovem os seguintes benefícios: redução da erosão, constrói matéria orgânica, entrega nutrientes chave, conserva e recicla nutrientes, suprime plantas daninhas, reduz compactação, incrementa a agregação do solo, infiltração e promove a capacidade de armazenar água e aeração do solo (SCHONBECK; MORSE, 2008), fornecerem alimento constante aos fungos micorrízicos promovendo seu aumento, controlam fitoparasitas e contribuem para a diminuição de fontes de inóculo de pragas e doenças (GAZOLA *et al.*, 2017), bem como podem atuar no sequestro de metais pesados tóxicos e na degradação de compostos xenobióticos como pesticidas (SINGHAL *et al.*, 2020).

Mesmo com os diversos benefícios do uso de plantas de cobertura, esta técnica possui uma baixa presença em áreas agrícolas brasileiras. Esta baixa adoção do cultivo de plantas de cobertura pelos produtores rurais não se deve ao desconhecimento dos diversos benefícios e potenciais obtidos, mas sim em função de quesitos econômicos (ROTH *et al.*, 2018). Uma vez que na maioria dos casos essas espécies não entregam uma receita direta pela produção. Contudo, os benefícios provenientes destes cultivos podem refletir na produtividade das culturas seguintes. Krenchinski *et al.* (2018); Forte *et al.* (2018) avaliaram o desempenho agronômico da soja semeada em sucessão a plantas de cobertura observaram que as espécies de cobertura promoveram o aumento da produtividade da cultura da soja.

O uso de plantas de cobertura durante o outono-inverno proporciona diversos benefícios ao solo além da própria ocupação da área. Estas plantas são capazes de promover melhorias na macroporosidade elevando-a, e na resistência a penetração do solo pela descompactação biológica (ANCHAU *et al.*, 2018), assim como também podem aumentar a disponibilidade de matéria orgânica, fósforo e potássio no solo (TEIXEIRA *et al.*, 2012; MICHELON *et al.*, 2019; HARUNA; NKONGOLO, 2020). Em virtude do constante aumento do preço dos fertilizantes químicos no Brasil, a possibilidade de diminuir a necessidade destes insumos através do uso de plantas de cobertura torna-se uma peça chave na redução de custos das propriedades agrícolas.

Outro benefício está na massa vegetal formada após a dessecação ou corte dessas espécies de cobertura. As espécies de Aveia-comum (*Avena sativa* L.) e Aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) podem adicionar uma cobertura de 3,0 – 4,0 $Mg.ha^{-1}$ de massa seca no solo (ZIECH *et al.*, 2015), camada esta que proporciona uma proteção contra erosão e manutenção da umidade. Em anos com deficiência hídrica, o benefício das culturas de outono-inverno sobre a produtividade da soja é mais relevante (RIBEIRO *et al.*, 2018). Contudo como toda ferramenta caso não seja bem manejada pode tornar-se um problema, então, um planejamento estratégico, gerenciamento e manipulação das espécies de cobertura são decisivas e essenciais para reduzir a competição por recursos (SINGHAL *et al.*, 2020).

As plantas de cobertura podem também atuar sobre as espécies daninhas, promovendo seu controle. Plantas de cobertura atuam através de competição por recursos, perturbação de nicho, liberação de fitotoxinas pelos exsudatos radiculares e decomposição dos resíduos vegetais, assim, interferindo no crescimento, desenvolvimento e reprodução das plantas daninhas (SIGHAL *et al.*, 2020). Adami *et al.* (2020) avaliando plantas de cobertura na entressafra soja-trigo observaram que a braquiária (*Urochloa ruziziensis*) apresentou elevada produtividade de massa seca e consequentemente o melhor potencial de supressão de *Conyza bonariensis*. Nascente *et al.* (2019) avaliando o efeito do mix de plantas de cobertura durante a entressafra observaram uma redução de 98,9% na produção de massa seca da parte aérea das plantas daninhas no cultivo de mix quando comparado ao pousio. Atualmente com a grande dificuldade de controle de determinas espécies de plantas daninhas, evidencia-se a necessidade do uso do solo neste período com plantas de cobertura como uma alternativa viável (OLIVEIRA *et al.*, 2014), reduzindo os gastos com aplicações de herbicidas e tornando o ambiente agrícola mais sustentável.

2.3. Herbicidas residuais empregados no cultivo de soja

Na agricultura brasileira a busca pelo aumento da produtividade encontrou como alternativa o uso de cultivares altamente produtivas, consequentemente mais exigentes, traz consigo a necessidade de um manejo cada vez mais criterioso, onde a competição com plantas daninhas torna-se uma potencial causa de redução de produtividade. Silva *et al.* (2008) avaliando os efeitos da interferência das plantas daninhas sobre os componentes de produção da cultura da soja observaram em áreas de alta infestação uma redução de 78% do número de vagens por planta, evidenciando a agressividade da competição exercida pelas plantas infestantes. O que leva a um aumento no uso de pesticidas, Almeida *et al.* (2017) observaram que o uso total de agrotóxicos no Brasil aumentou 1,6 vezes entre os anos 2000 e 2012. Dados do IBAMA (2021) demonstram um aumento de 238% nas vendas de herbicidas no Brasil entre os anos 2000 e 2018. Demonstrando o amplo e extensivo uso de herbicidas na agricultura brasileira.

Nesse sentido o uso de herbicidas pré-emergentes apresenta-se como uma alternativa para o combate a plantas daninhas, em razão ao seu controle antes da emergência da cultura, acompanhado de um efeito residual durante o início do ciclo da cultura, suprimindo novos fluxos de infestação e, assim, permitir que a cultura possa emergir no limpo (SANTOS *et al.*, 2012). Esse controle precoce de plantas daninhas torna-se uma ferramenta eficiente, uma vez que a fase de germinação/emergência de plantas daninhas é a fase mais suscetível a interferência por distúrbios de natureza física, química ou biológica (RADOSEVICH *et al.*, 2007). Existem diversas opções de herbicidas pré-emergentes para a cultura da soja, como chlorimuron, imazethapyr, flumioxazina, diclosulam, sulfentrazone, clomazone, metribuzin, S-metolachlor, metsulfuron e trifluralina (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

O diclosulam é um herbicida seletivo, inibidor da enzima ALS, pertencente ao grupo das trizolopirimidinas, recomendado para o controle de plantas daninhas de folhas largas na cultura da soja (DE SOUSA, 2018). Segundo Constantin *et al.* (2013) esse herbicida tem sido uma das principais alternativas para o manejo de buva e capim-amargoso resistente ao glyphosate, principalmente no manejo outonal ou em pré-emergência da soja, sendo que a dose recomendada pode variar de 25 a 35 $g.ha^{-1}$ (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). A meia-vida deste herbicida está entre 60 a 90 dias, dependendo das condições de clima e solo (LAVORENTI *et al.*, 2003) e sua degradação no solo é favorecida pela atividade microbiana (RODRIGUES *et al.*, 2010).

O herbicida imazethapyr atua inibindo a atividade da acetolactato sintase (ALS), sendo esta essencial na síntese de aminoácidos de cadeira ramificada, leucina, valina e isoleucina (RIBEIRO *et al.*, 2019) e possui registro para

aplicação em pré e pós-emergência das plantas infestantes nas culturas de amendoim, arroz, soja e feijão (ANVISA, 2019). Recomenda-se sua aplicação em pós-emergência precoce, estando às dicotiledôneas no estádio cotiledonar, com até quatro folhas, e as monocotiledôneas, entre uma e quatro folhas (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Em solos de pH alto é fracamente adsorvido, podendo ter adsorção média naqueles com pH baixo (DIOURI *et al.*, 2011). A principal forma de degradação do imazethapyr no solo é a microbiana, e possui uma meia-vida que varia de 25-142 dias dependendo das características do solo e condições ambientais (SENSEMAN, 2007).

O herbicida sulfentrazone possui registro para aplicação em pré-emergência das plantas infestantes nas culturas de abacaxi, café, cana-de-açúcar, citros, eucalipto, fumo e soja (ANVISA, 2006), possui mecanismo de ação inibindo a atuação da enzima PROTOX, quando aplicados em pré-emergência, causa morte das plantas sensíveis que entrarem em contato com a camada de solo tratada (MATTE *et al.*, 2018). A meia-vida do sulfentrazone no solo varia entre 34 a 116 dias (BRUM *et al.*, 2013), sendo a degradação microbiana a principal forma de dissipação do herbicida (TEXEIRA *et al.*, 2017). Contudo estudos apontam que o sulfentrazone pode persistir no solo por um período de 143 dias (MALADÃO, 2019).

O herbicida fomesafen possui registro para a aplicação em pós-emergência das plantas infestantes de folha larga das culturas de algodão, feijão e soja e em pré-emergência na cultura de algodão (ANVISA, 2011). Caracterizado por Oliveira Neto *et al.* (2015) como bastante eficiente no controle de dicotiledôneas nas culturas do feijoeiro e da soja, além de apresentar atividade residual no solo. O fomesafen possui um mecanismo de ação através da inibição da atuação da enzima PROTOX, e possui uma meia-vida entre e 60 e 114 dias (COSTA, 2015). Contudo recomenda-se um intervalo mínimo de 150 dias entre a aplicação do fomesafen e a semeadura de milho e, ou, sorgo (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

2.4. Persistência de herbicidas no solo

O manejo de plantas daninhas em cultivos agrícolas vem se tornando cada vez mais uma atividade essencial para alcançar boas produtividades, e quando este manejo tecnificado é realizado com herbicidas pré-emergentes deve-se respeitar o período residual destas moléculas (CARVALHO *et al.*, 2010). Contudo observa-se que os sistemas adotados por alguns produtores se encontram baseados simplesmente no controle químico com herbicidas pré-estabelecidos, não considerando as condições específicas locais como solo, clima, cultivar ou mesmo o sistema rotacional de cultivo utilizado (MANCUSO *et al.*, 2011). 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 (GONÇALVES *et al.*, 2018), no entanto a persistência além do ciclo de cultivo pode ser um problema, uma vez que o herbicida pode prejudicar as culturas subsequentes se presentes em concentrações suficientemente altas (AVILA *et al.*, 2021).

A persistência de um herbicida pode ser definida como a habilidade que ele tem para manter a integridade de sua molécula e características físicas, químicas e biocidas no ambiente (MARCHESAN *et al.*, 2016). Esta persistência no solo pode provocar o efeito carryover, que acontece após a aplicação de herbicidas com atividade residual maior que o intervalo entre cultivos, proporcionando impactos negativos nas culturas subsequentes, em função da presença de resíduos com atividade biológica presentes no solo em concentração suficiente para provocar injúrias, sejam estas moléculas dos herbicidas ou seus metabólitos (CONSTANTIN *et al.*, 2013). A partir dessas informações evidencia-se que o planejamento da sucessão de culturas deve ser criterioso para evitar este problema, sendo que a situação ideal deve ser o controle com efeito residual até o "fechamento" da cultura (MANCUSO *et al.*, 2011).

O tempo em que um herbicida persiste no solo é influenciado pela natureza do herbicida, características físico-químicas do solo, interação do solo com o herbicida, associado com as condições climáticas (COSTA *et al.*, 2015). Este período pode ser extremamente curto ou persistir por um longo período, sendo a umidade do solo um fator de extrema importância em todos os processos (MATTE *et al.*, 2018), em razão da hidrólise química ser responsável, em geral, pelo início de uma série de atividades degradativas que ocorrem no solo (MONQUERO *et al.*, 2013). Então, a quantidade, frequência e a intensidade das chuvas são importantes fatores que influenciam na maior ou menor atividade residual de herbicidas no solo (CARVALHO *et al.*, 2018).

A degradação microbiana de herbicidas no solo é um fator decisivo na persistência ou carryover, porém, sendo extremamente dependente da umidade e temperatura do solo (MENDES *et al.*, 2017). Na degradação, a estrutura destes compostos é transformada com a quebra das suas moléculas, de forma biótica ou abiótica, tornando-as, na maioria dos casos, menos tóxicas que as moléculas originais (FENNER *et al.*, 2013). A degradação microbiológica é realizada pelos microrganismos do solo, por dois principais processos: i) o metabolismo, em que o agrotóxico serve como fonte de energia e ii) o co-metabolismo, onde os microrganismos se desenvolvem em função de outro substrato, produzindo enzimas que podem modificar a molécula dos agrotóxicos (SINGH, 2017). Carvalho *et al.* (2018) estudando o comportamento do herbicida imazethapyr observaram que sua persistência está diretamente relacionada com a atividade microbiana. Outro fator importante na persistência são as características físico-químicas da molécula herbicida, como a constante de equilíbrio de ionização do ácido (pKa), o coeficiente de participação octanol-água (Kow), a solubilidade em água (Sw) e a pressão de vapor (PV) (GONÇALVES *et al.*, 2018), além da sensibilidade da própria cultura em sucessão (BEDMAR e GIANELLI, 2014).

Conhecer a persistência dos herbicidas em diferentes texturas de solo pode fornecer informações importantes para o desenvolvimento de estratégias para manejo de plantas daninhas e recomendações seguras do uso de herbicidas (RANI *et al.*, 2019). Contudo, diversos são os fatores que podem influenciar a persistência dos herbicidas no solo, o que torna extremamente difícil determinar com precisão esse período. Como alternativa pode ser analisado a meia-vida da molécula (t ½), a qual que é definida como o tempo necessário para que ocorra a degradação de 50% da quantidade inicial do herbicida aplicado (SOUZA, 2016). Além disso o uso de combinações de herbicidas pode reduzir o risco de problemas com carryover, uma vez que a dosagem utilizada pode ser reduzida quando comparada em aplicação de um único produto (CURRAN, 2001).

2.5. Fitotoxicidade de herbicidas sobre culturas em sucessão

O uso de herbicidas é o método de controle mais utilizado na agricultura mais tecnificada, principalmente por proporcionar maior eficiência e em muitos casos redução de custos (WALPERES *et al.*, 2015). Contudo, uma das principais dificuldades com a recomendação e aplicação de herbicidas é sobre a dinâmica dos produtos no solo, e os fatores que afetam esta dinâmica (CHRISTOFFOLETI *et al.*, 2005). Sendo então necessário um bom planejamento das culturas semeadas em sucessão, bem como o conhecimento do comportamento dos herbicidas residuais aplicados na propriedade.

Os herbicidas inibidores da ALS constituem um dos mais importantes grupos de herbicidas atualmente comercializados, bem como grande parte das moléculas lançadas nos últimos anos ou em fase de desenvolvimento apresentam esse mecanismo de ação (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011), a inibição da ALS interrompe a síntese proteica, que por sua vez interfere na síntese do DNA e no crescimento celular (DIAS, 2015). Os herbicidas imazethapyr e diclosulam pertencem aos grupos químicos das imidazolinonas e triazolopirimidinas, respectivamente. Os sintomas de

paralização do crescimento, clorose internerval e, ou arroxeamento foliar entre 7 a 10 dias após a aplicação são observados em plantas susceptíveis a esses produtos (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011), podendo atingir até espécies semeadas em sucessão.

Em uma visão histórica da literatura diversos são os casos de fitotoxiciade de herbicidas pertencentes a este grupo. Brighenti *et al.* (2002) constataram que o diclosulam causa redução total do estande de girassol aos 75 e 90 dias após a aplicação; Pinto *et al.* (2009) observaram efeitos negativos no crescimento e desenvolvimento da área foliar da cultura do milho que mesmo semeando 540 dias após a aplicação de imazethapyr + imazapic, Dan *et al.* (2012a) e Dan *et al.* (2012b) avaliando os efeitos do diclosulam e imazethapyr na cultura do milho e girassol em sucessão a soja identificaram uma redução no rendimento de grãos, Santos *et al.* (2018) observaram que o herbicida imazethapyr proporcionou efeitos negativos sobre a massa seca da parte aérea e raiz da cultura do milho mesmo semeado 105 dias após a aplicação, Sousa *et al.* (2019) avaliando o efeito residual do imazethapyr + imazapic na cultura do algodão em sucessão a soja observaram efeito fotoinibitório 135 dias após a aplicação de pré-emergência. Contudo existem também trabalhos em que não se identifica o efeito fitotóxico dos herbicidas, Ribeiro (2018) observou que o herbicida diclosulam não proporcionou efeitos fitotóxicos as culturas do milho e algodão quando semeados 120 dias após a aplicação do pré-emergente.

Os herbicidas inibidores da PROTOX possuem o mecanismo de ação que inibe a atuação da enzima protoporfirinogênio oxidase. Entre suas características gerais estão poucas ou nenhuma translocação nas plantas e a necessidade de luz para a sua ativação (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011), então a ação tóxica dos herbicidas com esse mecanismo de ação, quando aplicados em pré-emergência, são manifestadas na emergência das plantas quando estão próximas a superfície do solo (DIAS, 2015). Os herbicidas sulfentrazone e fomesafen pertencem aos grupos triazolinonas e difeniléteres, respectivamente. Quando em pré-emergência seus efeitos são a rápida necrose e morte, e quando em doses subletais produzem sintomas de bronzeamento de folhas mais novas (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011). Os efeitos desses herbicidas podem ser identificados em culturas comercias, quando esta apresenta sensibilidade e em contato com o efeito residual de aplicações oriundas de culturas antecessoras.

Na literatura muitos trabalhos relatam os efeitos proporcionados pelos resíduos destes herbicidas no solo quando em contato com culturas sensíveis. Artuzi e Contiero (2006) observaram redução de porte e altura das plantas e clorose intensa das folhas no milho semeado 30 dias depois da aplicação de sulfentrazone e redução de produtividade do milho semeado no mesmo dia de aplicação de fomesafen, Pekarek *et al.* (2010) observaram intoxicação visual de 14 a 18% e uma redução de 32% na produtividade da cultura do algodão quando semeado 352 dias após a aplicação do herbicida sulfentrazone, Dan *et al.* (2011) observaram uma redução no acúmulo de matéria seca da parte aérea do milheto de 39% quando semeado 120 dias após a aplicação de sulfentrazone, Matte (2017) observou intoxicação do algodoeiro e redução da produtividade em 30% quando semeado 112 dias após a aplicação de sulfentrazone, Nalini *et al.* (2017) observaram que o sulfentrazone afetou negativamente a altura e matéria seca do girassol e milheto semeados 60 dias após a aplicação.

2.6. Estudo dos resíduos de herbicidas no solo através de bioensaio

Os resíduos de herbicidas que permanecem no solo podem prejudicar as culturas seguintes. Surge então a necessidade de se testar a presença ou não dos resíduos de herbicidas em determinado solo, o qual foi anteriormente aplicado para controle de plantas daninhas. Existem análises laboratoriais para determinação de herbicidas no solo, contudo na grande maioria apresentam um elevado custo e pode não revelar se a cultura será afetada pelos resíduos de herbicida no solo (KLEIN *et al.* 2008). Além disso, o método mais adequado é aquele que melhor se aproxima das condições de campo, apresentando uma reprodutibilidade (CERDEIRA, 2005). O bioensaio que alia baixo custo a bom resultado prático, é uma técnica de identificação de resíduos no solo que se baseia na utilização de organismos vivos, geralmente, espécies vegetais sensíveis ao composto estudado (MARCHESAN *et al.*, 2011), sendo identificado os resultados através da alteração das características agronômicas da planta teste (MELO *et al.*, 2010). Então, ao fim do teste que pode ser realizado pela coleta de solo ou implantado na própria área, entregará um resultado com um indicativo da presença ou não de determinado herbicida no solo.

A sensibilidade da espécie ao herbicida pode ser expressa em diferentes características da planta, no geral, as variáveis observadas com maior frequência são altura de planta, área foliar, intoxicação e massa fresca e seca (DUQUE, *et al.* 2020). Sendo o mecanismo de ação do herbicida o principal influenciador, pois os sintomas apresentados pelas plantas variam em função da molécula estudada (MARCHESAN, *et al.* 2011). Sendo então necessário a seleção de espécies bioindicadoras adequadas ao herbicida estudado, bem como que as variáveis observadas nas plantas sejam compatíveis com os sintomas provocados pela molécula herbicida. Para ser considerada bioindicadora, a espécie vegetal deve ter sensibilidade ao herbicida estudado, apresentando intoxicação e redução em características físicas ou fisiológicas (DUQUE *et al.*, 2020). Além disso, a sensibilidade deve aumentar em função do aumento de resíduos no solo (MENDES *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2018). Nas características mensuradas nos bioensaios, intoxicação e massa seca de parte aérea são as variáveis mais discriminadoras de resíduos de herbicidas (FREITAS *et al.*, 2014; MELO *et al.*, 2010).

Segundo Diesel *et al.* (2019) as espécies vegetais diferem entre si em relação à sensibilidade a um herbicida específico, e o grau de sensibilidade de uma espécie varia entre os diferentes herbicidas, em virtude disso são realizados ensaios para determinar quais as espécies mais adequadas para bioensaios. Ribeiro *et al.* (2019) avaliando a sensibilidade da melancia (*Citrullus lanatus*) como bioindicadora de resíduos de herbicidas pré-emergentes utilizados na cultura da soja, concluíram que a espécie possui potencial para indicar resíduos de diclosulam, metribuzin e a mistura imazapyr + imazapic no solo. Blanco e Velini (2005) avaliando persistência do herbicida sulfentrazone em culturas sucessoras a soja, utilizou a beterraba (*Beta vulgaris*) como planta teste, e verificou a sensibilidade da cultura quando mesmo depois de 539 dias da aplicação do produto. Sousa *et al.* (2012) avaliando o efeito residual da mistura imazethapyr + imazapic sobre plantas sensíveis, observaram que após 1100 dias a aplicação ainda foi detectado a presença dos resíduos dos herbicidas através das plantas avaliadas, sendo o tomate e o rabanete os quais apresentaram maior sensibilidade aos herbicidas. Alves *et al.* (2019) avaliando a eficiência de culturas de inverno na fitorremediação de solos contaminados com fomesafen e sulfentrazone utilizaram o pepino (*Cucumis sativus*) como espécie bioindicadora de resíduo dos herbicidas no solo.

Referências

ADAMI, P. F. *et al.* Plantas de cobertura nas entressafras soja-trigo e soja-soja. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 16551-16567, mar. 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n3-505. Disponível em: https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-505. Acesso em: 17 nov. 2021.

ALMEIDA, V. E. S. *et al.* Use of genetically modified crops and pesticides in Brazil: growing hazards. **Ciênc. saúde colet.**, v.22, n.10, p. 3333–3339, out. 2017. DOI: 10.1590/1413-812320172210.17112017. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1413-812320172210.17112017. Acesso em: 17 nov. 2021.

ALVES, C. *et al.* Espécies de Inverno Promovem Fitorremediação de Solo Contaminado com Herbicidas Inibidores da Protox. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 37, p. 1-12, 2019. DOI 10.1590/S0100-83582019370100020. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100020. Acesso em: 17 nov. 2021.

ANSCHAU, K. A. *et al.* Propriedades físicas do solo, características agronômicas e produtividade da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 3, p. 293-299, 2018.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Consulta Pública n⁰ 676**, de 29 de julho de 2019. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/111215/117782/I10%2B%2BImazetapir.pdf/937172bb-286d-4d57-8152-dc9bb524fa73>. Acesso em 17 de nov. 2021

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Consulta Pública n⁰ 56**, de 2 de dezembro de 2011. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2540793/CP%2BN%25C2%25BA%2B56%2BGGTOX.pdf/b0fea656-604c-4308-8ed6-5c1e64116d9e >. Acesso em 17 de nov. 2021.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Monografias Autorizadas – S09 - Sulfentrazona**, de 27 de setembro de 2006. Disponível em: < http://portal.anvisa.gov.br/documents/111215/117782/s09.pdf/beabe272-0766-4b5e-a8af-9da11687e962>. Acesso em 17 de nov. 2021.

ARTUZI, J. P.; CONTIERO, R. L. Herbicidas aplicados na soja e produtividade do milho em sucessão. **Pesq. agropec. Bras**., Brasília, v. 41, n. 7, p. 1119-1123, jul. 2006. DOI: 10.1590/S0100-204X2006000700007. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000700007. Acesso em: 17 nov. 2021.

AVILA, L. A. *et al.* Understanding the Opportunities to Mitigate Carryover of Imidazolinone Herbicides in Lowland Rice**. Agriculture**, v. 11, n. 4, p. 299-316, mar. 2021.

BEDMAR, F.; GIANELLI, V. Comportamiento de los herbicidas em el suelo. In: FERNÁNDEZ, O. A.; LEGUIZAMÓN, E. S.; ACCIARESI, H. A. (org.). **Malezas e invasoras de la Argentina: ecología y manejo**. Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Ediuns, 2014. v.1, cap.14, p.361-390.

BLANCO, F. M. G.; VELINI, E. D. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com soja e seu efeito em culturas sucedâneas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 693-700, 2005. DOI 10.1590/S0100-83582005000400018. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582005000400018. Acesso em: 17 nov. 2021.

BRIGHENTI, A. M. *et al.* Persistência e fitotoxicidade de herbicidas aplicados na soja sobre o girassol em sucessão. **Pesq. agropec. Bras**., Brasília, v. 37, n. 4, p. 559-565, abr. 2002.

BRUM, C. S. *et al.* Degradação do herbicida sulfentrazone em dois solos de Mato Grosso do Sul. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.5, p.558–564, fev. 2013.

CAPONE, A. *et al.* Efeito de épocas de semeadura de girassol na safrinha, em sucessão à soja no Cerrado Tocantinense. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 1, p. 102-109, fev. 2012.

CARVALHO, F. T. *et al.* Efeito do residual no solo de nicosulfuron isolado e em mistura com atrazine sobre culturas agrícolas subsequentes. **Rev. Bras. Herb.**, Londrina, v. 9, n. 1, p. 26-34, abr. 2010. DOI 10.7824/rbh.v9i1.76. Disponível em: https://doi.org/10.7824/rbh.v9i1.76. Acesso em: 17 nov. 2021.

CARVALHO, M. A. C. *et al.* Plantas de cobertura, sucessão de culturas e manejo do solo em feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 659-668, 2007.

CARVALHO, S. J. P. *et al.* Persistência de imazethapyr no solo e toxicidade ao milho semeado em sucessão. **Rev. Bras. Herb.**, v. 17, n. 2, p. 583-590, jun. 2018. DOI: 10.7824/rbh.v17i2.583. Disponível em: https://doi.org/10.7824/rbh.v17i2.583. Acesso em: 17 nov. 2021.

CERDEIRA, A. L. *et al.* Efeito de sistemas de cultivo com cana-de-açúcar sobre a lixiviação dos herbicidas do grupo das triazinas em região de recarga do Aqüífero Guarani. **Embrapa Meio Ambiente**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 32, 2005. 25 p.

CHRISTOFFOLETI P. J. *et al.* Desafios no manejo de plantas daninhas na sucessão soja-milho. In: GUIMARÃES, A. C. D. *et al.* (org.). Estratégia de manejo de plantas daninhas para novas fronteiras agrícolas. Curitiba, PR: **Editora da SBCPD**. Cáceres, MT: **Editora da Unemat**, 2018. Cap. 4, p. 59-69.

CHRISTOFFOLETI, P. J. *et al.* **Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: BASF, p. 49, 2005.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Primeiro levantamento**, outubro 2021 – safra 2021/2022. : Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2021. Disponível em: < https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 17 nov. 2021.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Terceiro levantamento**, dezembro 2019 – safra 2019/2020. : Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2019. Disponível em: < https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 17 nov. 2021.

CONSTANTIN, J. *et al.* Manejo de buva na entressafra. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R.S.; OLIVEIRA NETO, A.M. Buva: Fundamentos e recomendações para manejo. Curitiba: **Omnipax**, cap.6, p.41-64, 2013.

COSTA, A. I. G. *et al.* Mobility and persistence of the herbicide fomesafen in soils cultivated with bean plants using SLE/LTP and HPLC/DAD. **Environ Sci Pollut Res**, v. 22, n. 5, p. 3457-3466, 2015. DOI: 10.1007/s11356-014-3557-5. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11356-014-3557-5. Acesso em: 17 nov. 2021.

COSTA, A. I. G. **Comportamento do herbicida Fomesafen em solos com diferentes características físicas e químicas**. 2015. 69 p. Tese (Doutorado em Agroquímica) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

CURRAN, W. S. **Persistence of herbicides in soil. Agronomy Facts 36**. Penn State College of Agricultural Sciences research and extension programs, 2001. 4p.

DAN, H. A. *et al.* Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milheto cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 437-445, jun. 2011. DOI: 10.1590/S0100-83582011000200022. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000200022. Acesso em: 17 nov. 2021.

DAN, H. A. *et al.* Atividade residual de herbicidas usados na soja sobre o girassol cultivado em sucessão. **Ciência Rural**, v. 42, n. 11, p. 1929-1935, nov. 2012b. DOI: 10.1590/S0103-84782012005000081. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000081. Acesso em: 17 nov. 2021.

DAN, H. A. *et al.* Resíduos de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 86-91, mar. 2012a.

DIAS, G. L. S. **Sintomas de intoxicação de culturas por herbicidas**. 2015. 52 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

DIESEL, F. *et al.* Bioassay for Determining Persistence of the Herbicide Saflufenacil in an Oxisol. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 37, p. 1-10, ago. 2019. DOI 10.1590/S0100-83582019370100052. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100052. Acesso em: 17 nov. 2021.

DIOURI, N. *et al.* Adsorption of Imazethapyr from Aqueous Solution on Activated Carbon. **Asian Journal of Chemistry**, v. 23, p. 288-292, 2011.

DUQUE, T. S. *et al.* Uso de bioindicadoras vegetais para identificação de resíduos de herbicidas no solo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1-32, set. 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.8123. Disponível em: https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.8123. Acesso em: 17 nov. 2021.

FENNER, K. *et al.* Evaluating pesticide degradation in the environment: blind spots and emerging opportunities. **Science**, v.341, n.6147, p.752–758, ago. 2013. DOI: 10.1126/science.1236281. Disponível em: https://doi.org/10.1126/science.1236281. Acesso em: 17 nov. 2021.

FORTE, C. T. *et al.* Coberturas vegetais do solo e manejo de cultivo e suas contribuições para as culturas agrícolas. **Rev. Bras. Cienc. Agrar.**, Recife, v. 13, n. 1, p. 1-10, nov. 2018. DOI: 10.5039/agraria.v13i1a5504. Disponível em: https://doi.org/10.5039/agraria.v13i1a5504. Acesso em: 17 nov. 2021.

FREITAS, M. A. M. *et al.* Sorção do sulfentrazone em diferentes tipos de solo determinada por bioensaios. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 385-392, jun. 2014. DOI: 10.1590/S0100-83582014000200016. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582014000200016. Acesso em: 17 nov. 2021.

GAZOLA, C. V. *et al.* Benefícios das plantas de cobertura e plantio direto em sistemas de agricultura orgânica regenerativa-uma visão geral. **Rev. Conexão Eletrônica**, Três Lagoas, v. 14, n. 1, p. 474-484, 2017.

GHENO, E. A. **Residual de herbicidas aplicados na cultura do algodoeiro sobre feijão, milho e soja cultivados em sucessão**. 2013. 90 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

GONÇALVES, F. A. R. *et al.* Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da soja. **Rev. Cienc. Agrar**., Viçosa, v. 61, abr. 2018. DOI 10.22491/rca.2018.2570. Disponível em: http://dx.doi.org/10.22491/rca.2018.2570. Acesso em 17 de nov. 2021.

HARUNA, S. I.; NKONGOLO, N. V. Influence of cover crop, tillage, and crop rotation management on soil nutrients**. Agriculture**, v. 10, n. 6, p. 225-239, jun. 2020. DOI: 10.3390/agriculture10060225. Disponível em: https://doi.org/10.3390/agriculture10060225. Acesso em: 17 nov. 2021.

HUNT N. D. *et al.* Cropping system diversity effects on nutriente discharge, soil erosion, and agronomic performance. **Environ Sci Technol.**, v.53, n.3, p. 1344-1352, jan. 2019. DOI: 10.1021/acs.est.8b02193. Disponível em: https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02193. Acesso em: 17 nov. 2021.

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Histórico de comercialização 2000 – 2018**. Governo Federal. Brasília, IBAMA, 2021. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercialização-de-agrotóxicos#boletinsanuais. Acesso em: 17 nov. 2021.

KLEIN, R. N. *et al.* A quick test for herbicides carryover in the soil. **Nebraska Extension Publications**. Lincoln: Universidade de Nebraska, 2008. Disponível em: https://extensionpubs.unl.edu/. Acesso em: 17 de nov. 2021.

KRENCHINSKI, F. H. *et al.* Agronomic performance of soybean grown in succession to winter cover crops. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.53, n.8, p.909-917, ago. 2018. DOI: 10.1590/S0100-204X2018000800005. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2018000800005. Acesso em: 17 nov. 2021.

LAVORENTI, A. *et al.* Comportamento do diclosulam em amostras de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto e convencional. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 183-190, 2003.

MALADÃO, J. C. *et al.* Leaching and Persistence of Sulfentrazone when Mixed with Adjuvants. **Planta daninha**, Viçosa, v. 37, p. 1-12, set. 2018. DOI: 10.1590/S0100-83582019370100088. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100088. Acesso em: 17 nov. 2021.

MANCUSO, M. A. C. *et al.* Efeito residual de herbicidas no solo ("Carryover"). **Rev. Bras. Herb.**, Londrina, v.10, n.2, p.151-164, ago. 2011. DOI 10.7824/rbh.v10i2.106. Disponível em: https://doi.org/10.7824/rbh.v10i2.106. Acesso em: 17 nov. 2021.

MARCHESAN, E. D. *et al.* Integration mulches with atrazine for weed managementin corn. **Agrária**, Recife, v. 11, n. 1, p. 1-7, 2016. DOI: 10.5039/agraria.v11i1a5353. Disponível em: https://doi.org/10.5039/agraria.v11i1a5353. Acesso em: 17 nov. 2021.

MARCHESAN, E. D. *et al.* Seleção de espécies bioindicadoras para uso em bioensaios de lixiviação e persistência de atrazina no solo. **Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente**, Curitiba, v. 21, p. 47-54, dez. 2011. DOI: 10.5380/pes.v21i0.25937. Disponível em: https://doi.org/10.5380/pes.v21i0.25937. Acesso em: 17 nov. 2021.

MATTE, W. D. **Atividade residual de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da soja sobre o algodoeiro cultivado em sucessão**. 2017. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Mato Grosso, 2017.

MATTE, W. D. *et al.* Efeito residual de herbicidas no sistema soja-algodão. In: GUIMARÃES, A. C. D. *et al.* (org.). Estratégia de manejo de plantas daninhas para novas fronteiras agrícolas. Curitiba, PR: **Editora da SBCPD**. Cáceres, MT: **Editora da Unemat**, 2018. Cap. 5, p. 70-81.

MELO, C. A. D. *et al.* Lixiviação de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen no perfil de três solos. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 385-392, jun. 2010. DOI: 10.1590/S0100-83582010000200018. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000200018. Acesso em: 17 nov. 2021.

MENDES, K. F. *et al.* Seleção de plantas indicadoras para o monitoramento do mesotrione e metribuzin em solo argiloso. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 13, n. 1, p. 53-59, abr. 2015.

MENDES, K. F.; CARVALHO, R. D.; REIS, M. R. Carryover e persistência de herbicidas em solos. **Editora da SBCPD**. Curitiba, 2017.

MICHELON, C. J. *et al.* Atributos do solo e produtividade do milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Rev. Ciênc. Agrovet.**, Lages, v. 18, n. 2, p. 230-239, jun. 2019. DOI: 10.5965/223811711812019230. Disponível em: https://doi.org/10.5965/223811711812019230. Acesso em: 17 nov. 2021.

MONQUERO, P. A. *et al.* Persistência de imazaquim e diclosulam em função da umidade do solo. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 7, n. 3, p. 331-337, dez. 2013.

NALINI, R. *et al.* Persistence of sulfentrazone in soil under soybean and its carryover effect on bioindicators. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v. 67, n. 3, p. 217-222, 2017. DOI: 10.1080/09064710.2016.124667. Disponível em: https://doi.org/10.1080/09064710.2016.124667. Acesso em: 17 nov. 2021.

NASCENTE, A. S. *et al.* Cultivo de plantas de cobertura na produção de biomassa de plantas daninhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 11., 2019, Balneário Camboriú. **Anais** [...]. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão (ALICE), 2019. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1111824/1/CNPAF2019cbaiasn2.pdf. Acesso em: 17 nov. 2021.

OLIVEIRA JÚNIOR R. S. Mecanismos de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (org). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, cap. 7, p. 141-192, 2011.

OLIVEIRA NETO, A. M. *et al.* Selectivity of fomesafen to cotton. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 759-770, 2015.

OLIVEIRA, M. F. Comportamento de Herbicidas no Ambiente. In: OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J (org). **Plantas Daninhas e seu Manejo**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 362p.

OLIVEIRA, R. S. *et al.* Palhadas de gramíneas visando à supressão da emergência e do crescimento inicial de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 11-17, mar. 2014. DOI: 10.1590/S0100-83582014000100002. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582014000100002. Acesso em: 17 nov. 2021.

OLIVEIRA, T. L. *et al.* Seleção de espécies bioindicadoras do herbicida ethoxysulfuron. **Rev. Cienc. Agrar.,** v. 61, out. 2018.

PEKAREK, R. A. *et al.* Sulfentrazone carryover to vegetables and cotton. **Weed Technology**, v.24, n. 1, p.20-24, mar. 2010. DOI: 10.1614/WT-08-157.1. Disponível em: https://doi.org/10.1614/WT-08-157.1. Acesso em: 17 nov. 2021.

PINTO, J. J. O. *et al.* Milho (Zea mays) como espécie bioindicadora da atividade residual de (imazethapyr+ imazapic). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, p. 1005-1014, dez. 2009. DOI: 10.1590/S0100-83582009000500014. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000500014. Acesso em: 17 nov. 2021.

RADOSEVICH, S. R. *et al.* **Ecology of weeds and invasive plants: relationship to agriculture and natural resource management**. 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007. 454p.

RANI, D. *et al.* Behavior of pre-mix formulation of imazethapyr and imazamox herbicides in two different soils. **Environ Monit Assess**, v. 191, n. 33, p. 1-8, 2019. DOI: 10.1007/s10661-018-7161-xD. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-018-7161-xD. Acesso em: 17 nov. 2021.

RIBEIRO, L. M. *et al.* Produtividade da soja em sucessão a cultivos de outono-inverno. **Agrarian**, Dourados v. 11, n. 40, p. 120-131, ago. 2018. DOI: 10.30612/agrarian.v11i40.537. Disponível em: https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i40.537. Acesso em: 17 nov. 2021.

RIBEIRO, S. R. *et al.* Sensibilidade da melancia ao residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja. **Rev. Bras. Herb.**, v. 18, n. 2, p. 669-675, jun. 2019.

RICHETTI, A.; LAMAS, F. M. Sucessão de culturas: uma abordagem econômica em Mato Grosso do Sul. **Revista de Política Agrícola**, v. 28, n. 1, p. 90-101, mar. 2019. Disponível em: https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1482/pdf. Acesso em: 17 nov. 2021.

ROCHA, L. *et al.* Análise econômica de soja e milho safrinha em sucessão de culturas. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Goiânia, v. 16, n. 29, p. 130-140, jun. 2019.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6.ed. Londrina: Edição dos Autores, 2011. 697 p.

RODRIGUES, N. R. *et al.* Biodegradação do diclosulam por bactérias isoladas de solos cultivados com soja. **Planta daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 373-400, jun. 2010.

ROESCH-MCNALLY, G. E. *et al.* Barriers to implementing climate resilient agricultural strategies: the case of crop diversification in the U.S. Corn Belt. **Global Environmental Change,** n.48, p.206–215, jan. 2018.

ROTH, R. T. *et al.* A cost analysis approach to valuing cover crop environmental and nitrogen cycling benefits: A central Illinois on farm case study. **Agricultural Systems**, v. 159, p. 69-77, jan. 2018. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.10.007. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.10.007. Acesso em: 17 nov. 2021.

SANTOS, C. G. *et al.* Residual do herbicida imazetapir na cultura do milho. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n.3, p. 154-159. set. 2018. DOI: 10.5747/ca.2018.v14.n3.a237. Disponível em: https://doi.org/10.5747/ca.2018.v14.n3.a237. Acesso em: 17 nov. 2021.

SANTOS, G. *et al.* Carryover proporcionado pelos herbicidas s-metolachlor e trifluralin nas culturas de feijão, milho e soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 827-834, 2012. DOI: 10.1590/S0100-83582012000400017. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582012000400017. Acesso em: 17 nov. 2021.

SANTOS, M. R. *et al.* Viabilidade econômica dos cultivos em sucessão de soja e girassol. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.10, n.2, p. 37-46, nov. 2019.

SCHONBECK, M.; MORSE, R. Escolhendo as melhores culturas de cobertura para o seu Sistema orgânico de plantio direto. **Rodale Institute**, 2008. Disponível em: https://rodaleinstitute.org/pt/science/articles/choosing-the-best-cover-crops-for-your-organic-no-till-vegetable-system/. Acesso em: 17 nov. 2021.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina. Ed. Mecenas, 2009, 314p.

SENSEMAN, S. A. **Herbicide handbook**. 9.ed. Lawrence: Weed Science Society of America, 2007. 458p.

SILVA, A. F. *et al.* Densidades de plantas daninhas e épocas de controle sobre os componentes de produção da soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n.1, p. 65-71, 2008. DOI: 10.1590/S0100-83582008000100007. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000100007. Acesso em: 17 nov. 2021.

SILVA, A. G.; FRANCISCHINI, R.; GOULART, M. M. P. Desempenho agronômico e econômico de híbridos de sorgo granífero na safrinha em Montividiu-GO. **Revista de Agricultura**, v. 90, n. 1, p. 17-30, mai. 2015.

SINGH, S. N. **Microbe-Induced Degradation of Pesticides**. 1. ed., Cham: Springer, 2017. 245p.

SINGHAL, V. *et al.* Cover crop technology–a way towards conservation agriculture: A review. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 90, n. 12, p. 2275-2284, dez. 2020.

SOUSA, C. P. *et al.* Crescimento de espécies bioindicadoras do residual do herbicida (imazethapyr+ imazapic), semeadas em rotação com arroz Clearfield®. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 105-111, 2012. DOI 10.1590/S0100-83582012000100012. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582012000100012. Acesso em: 17 nov. 2021.

SOUSA, S. R. R. **Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da soja sobre o milho e o algodão cultivados em sucessão**. 2018. 82 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Instituto de tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2018.

SOUSA, S. R. R. *et al.* Residual effect of imazapyr+ imazapic on cotton grown in succession to soybean. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 23, n. 6, p. 400-405, jun. 2019. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v23n6p400-405. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n6p400-405. Acesso em: 17 nov. 2021.

SOUZA, G. V. **Comportamento no solo dos herbicidas diuron e hexazinone aplicados isolados e em misturas**. 2016. 680f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

SOUZA, R. D. *et al.* **Avaliação econômica do cultivo da soja em rotação, sucessão e monocultivo de culturas**. Cruz Alta: Unicruz, v.2, n.9, 2020. 10p.

TEIXEIRA, M. B. *et al.* Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **IDESIA**, Chile, v.30, n.1, p.55-64, abr. 2012. DOI: 10.4067/S0718-34292012000100007. Disponível em: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292012000100007. Acesso em: 17 nov. 2021.

TEXEIRA, M. F. F. *et al.* Lixiviação do sulfentrazone em solos do Norte de Minas Gerais cultivado com cana-de-açúcar. **Rev. Bras. Herb.**, v.16, n.3, p.246-255, set. 2017

WALPERES, K. C. *et al.* Residual effect of metribuzin in the soil on the growth of garlic, onion and beans. **Rev. Bras. Herb.**, v.14, n.1, p.64-72, mar. 2015. DOI: 10.7824/rbh.v14i1.390. Disponível em: https://doi.org/10.7824/rbh.v14i1.390. Acesso em: 17 nov. 2021.

ZIECH, A. R. D. *et al.* Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernal na região Sul do Brasil. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.50, n.5, p.374-382, mai. 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000500004. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000500004. Acesso em: 17 nov. 2021.

3. RESIDUAL DE HERBICIDAS APLICADOS NA SOJA SOBRE CULTURAS EM SUCESSÃO

Resumo

Os sistemas de produção empregados atualmente na grande maioria das lavouras brasileiras estão baseados em um cultivo de soja na primeira safra, seguido por uma cultura em sucessão de milho, algodão, sorgo, girassol e outras espécies. Neste cenário o uso de herbicidas na soja com longo efeito residual no solo pode acarretar em problemas em culturas sensíveis subsequentes. Diante desta problemática o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos fitotóxicos em decorrência do carryover dos herbicidas: diclosulam, imazethapir, sulfentrazone e fomesafen quando empregados no cultivo de soja, através do impacto nas culturas sucessoras. Foram instalados simultaneamente quatro ensaios em casa de vegetação localizada em campo experimental da ESALQ/USP no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, em vasos de 8 L contendo solo de textura média arenosa, onde inicialmente foi simulado o cultivo de soja durante 130 dias com o emprego dos quatro herbicidas selecionados para o estudo, em seguida foram semeadas as quatro culturas em sucessão, milho, algodão, girassol e sorgo. Durante a condução dos experimentos foram realizadas avaliações de fitotoxicidade, altura de planta e teor de clorofila aos 7, 15, 30 e 60 dias após a emergência (DAE) e a avaliação de área folar e massa seca aos 80 DAE. Nos experimentos com algodão e girassol observou-se resultados similares, onde o tratamento com o herbicida diclosulam promoveu efeitos como, maior nível de fitotoxicidade, menor altura de planta, área foliar e massa seca, diferindo estatisticamente em relação a testemunha. O sintoma de fitotoxidez observado foi um leve amarelecimento seguido por uma drástica redução no crescimento das culturas, sinal característico dos herbicidas inibidores da ALS. No experimento com a cultura do milho apesar dos tratamentos apresentarem uma leve clorose nas primeiras folhas e que elevaram o nível de fitotoxicidade, não houve influência nas demais características avaliadas durante o experimento. No ensaio com a cultura do sorgo os tratamentos com sulfentrazone, imazethapir e fomesafen apresentaram maiores níveis de fitotoxicidade e redução no crescimento durante as avaliações, com destaque para o sulfentrazone que apresentou sintomas mais severos de fitotoxicidade, e que se repetiram nas avaliações de área foliar e massa seca, como pode ser observado na redução de 84% da massa seca deste tratamento quando comparado a testemunha. Conclui-se que o herbicida diclosulam apresenta elevado potencial de carryover para as sucessões soja-algodão e soja-girassol, assim como os herbicidas sulfentrazone, imazethapir e fomesafen apresentaram potencial carryover para a cultura do sorgo semeado após a soja. Para a sucessão soja-milho apesar dos sintomas de clorose iniciais, a cultura conseguiu superar e se desenvolver satisfatoriamente.

Palavras-chave: sistemas de produção, carryover, sucessão de culturas, persistência no solo

Abstract

Residual of herbicides applied to soybean on succession crops

The production systems currently employed in the vast majority of Brazilian crops are based on a first-crop soybean crop, followed by successive crops of corn, cotton, sorghum, sunflower and other species. In this scenario, the use of herbicides in soybeans with long residual effect in the soil can lead to problems in subsequent sensitive crops. In view of this problem, the present work aimed to evaluate the phytotoxic effects due to the carryover of the herbicides: diclosulam, imazethapyr, sulfentrazone and fomesafen when used in soybean cultivation, through the impact on succeeding crops. Four experiments were simultaneously installed in the greenhouse located in the experimental field of ESALQ/USP in a randomized block design with four repetitions, in 8 L pots containing medium sandy soil, where initially soybean cultivation was simulated for 130 days with the use of the four herbicides selected for the study, then the four successive crops were sown: corn, cotton, sunflower and sorghum.

During the experiments, phytotoxicity, plant height and chlorophyll content were evaluated at 7, 15, 30 and 60 days after emergence (DAE) and leaf area and dry mass at 80 DAE. In the cotton and sunflower experiments similar results were observed, where the treatment with the herbicide diclosulam promoted effects such as higher phytotoxicity level, lower plant height, leaf area and dry mass, differing statistically in relation to the control. The phytotoxicity symptom observed was a slight yellowing followed by a drastic reduction in crop growth, a characteristic sign of ALS inhibitor herbicides. In the experiment with corn, although the treatments showed a slight chlorosis in the first leaves and increased the level of phytotoxicity, there was no influence on the other characteristics evaluated during the experiment. In the sorghum experiment, the treatments with sulfentrazone, imazethapyr and fomesafen showed higher levels of phytotoxicity and reduced growth during the evaluations, especially sulfentrazone, which showed more severe phytotoxicity symptoms, and repeated in the evaluations of leaf area and dry mass, as can be seen in the 84% reduction in dry mass of this treatment when compared to the control. It is concluded that the herbicide diclosulam presents high carryover potential for soybean-cotton and soybean-sunflower successions, as well as the herbicides sulfentrazone, imazethapyr and fomesafen presented carryover potential for the sorghum crop sown after soybean. For the soybean-corn succession, despite initial chlorosis symptoms, the crop was able to overcome and develop satisfactorily.

Keywords: production systems, carryover, crop succession, persistence in soil

3.1. INTRODUÇÃO

As condições climáticas encontradas no Brasil permitem aos produtores cultivarem sucessivas safras com altas produtividades, como o cultivo de soja com sucessão de milho, algodão, girassol e outras culturas em um mesmo ano agrícola. Segundo dados da Conab (2021) estima-se para a safra 2021/22 uma produção de 288,6 milhões de toneladas de grãos, sendo a produção de soja estimada em 140,7 milhões de toneladas, acompanhada pelo milho com 116,3 milhões de toneladas. Duas culturas que juntas constituem aproximadamente 89% da produção nacional de grãos. Além disso, a possibilidade realizar duas safras, e em algumas regiões uma cultura de inverno, em um mesmo ano agrícola, além de aumentar a produção por área, apresenta outras vantagens, como os efeitos positivos com a interrupção do ciclo de vida de pragas e de doenças e a melhoria da qualidade do solo (GONÇALVES *et al.*, 2018), além de um ganho financeiro maior (SOUZA *et al.*, 2020).

Para alcançar as altas produtividades e consequentemente bons retornos financeiros, um grande desafio para os produtores está no manejo de plantas daninhas. Silva *et al.* (2008) avaliando os efeitos da interferência das plantas daninhas sobre os componentes de produção da cultura da soja observaram em áreas de alta infestação uma redução de 78% do número de vagens por planta, evidenciando a agressividade da competição exercida pelas plantas infestantes. Como alternativa o uso de herbicidas pré-emergentes torna-se uma excelente ferramenta para o combate a plantas daninhas, em razão ao seu controle antes da emergência da cultura, acompanhado de um efeito residual durante o início do ciclo da cultura, suprimindo novos fluxos de infestação e, assim, permitir que a cultura possa emergir no limpo (SANTOS *et al.*, 2012). Com isso se evita a necessidade de excessivas aplicações de herbicidas de pós-emergência.

No entanto o estreitamento do período entre a aplicação de herbicidas residuais e a semeadura de uma outra safra amplia o risco de causar injúrias por ação dos resíduos dos herbicidas ainda presentes no solo, fenômeno este denominado de "carryover". Segundo Oliveira (2001) carryover é a habilidade que um herbicida tem de manter a integridade de sua molécula e, consequentemente, suas características físico-químicas e funcionais no ambiente. O tempo em que um herbicida persiste no solo é influenciado pela natureza do herbicida, características físico-químicas do solo, interação do solo com o herbicida, associado com as condições climáticas (COSTA *et al.*, 2015). Mesmo com algumas informações sobre degradação dos herbicidas no solo, em razão da grande diversidade de fatores envolvidos,

torna-se difícil determinar com exatidão o período de permanência do herbicida no ambiente. Evidenciando a necessidade de informações sobre o carryover de herbicidas em sucessão de culturas. Uma vez que essas informações são decisivas para produtores no planejamento do ano agrícola.

Em virtude de um cenário de poucas informações sobre os efeitos de herbicidas residuais em sucessão de culturas. O presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos fitotóxicos em decorrência do carryover dos herbicidas: diclosulam, imazethapyr, sulfentrazone e fomesafen quando empregados no cultivo de soja, através do impacto nas culturas sucessoras.

3.2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido na cidade de Piracicaba-SP, em área experimental da ESALQ/USP, durante o período de novembro de 2020 a julho de 2021, nas coordenadas (22°42'13.4"S, 47°38'02.1"W), a 540m de altitude. Os ensaios foram realizados em casa de vegetação, onde as parcelas experimentais foram compostas por vasos de plástico com capacidade para 8 L, que foram previamente preenchidos com solo de textura média arenosa, uma amostra deste solo foi coletada e submetida à análise para determinar as características químicas e granulométricas. O resultado da análise química apresentou as seguintes características: pH: 5,3, M.O: 19 g.dm^{-3}, P: 7 mg.dm^{-3}, K: 2 mmolc.dm^{-3}, Ca: 18 mmolc.dm^{-3}, Mg: 7 mmolc.dm^{-3}, SB: 24 mmolc.dm^{-3}, CTC: 45 mmolc.dm^{-3}, V(%): 60, já na análise granulométrica foram Areia fina: 596 g.kg^{-1}, Areia grossa: 166 g.kg^{-1}, Areia total: 761 g.kg^{-1}, Argila: 199 g.kg^{-1} e Silte: 39 g.kg^{-1}.

O experimento foi conduzido conforme o esquema apresentado na figura 1.

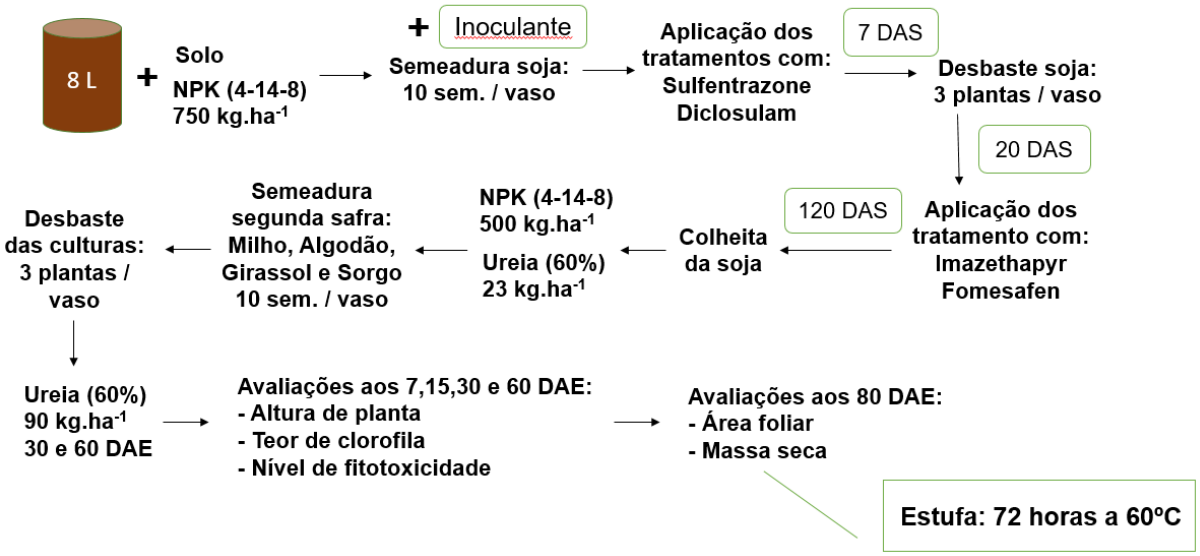

Figura 1. Esquema simplificado da condução do experimento com herbicidas residuais em culturas de segunda safra.

Durante os meses de novembro de 2020 a fevereiro de 2021 foi cultivado soja da variedade CZ 15B70 IPRO nos vasos selecionados para o experimento. Em cada vaso foi semeado 10 sementes e após a emergência foi realizado um desbaste deixando apenas 3 plântulas por vaso. As sementes de soja foram inoculadas com dois produtos, RizoKop (Bradyrhizobium japonicum) e Azokop (Azospirillum brasiliense), assim como foi realizado uma adubação

de plantio com 750 kg.ha^{-1} de NPK 4-14-8. No cultivo da soja foram aplicados os herbicidas diclosulam (35 g.ha^{-1}); sulfentrazone (400 g.ha^{-1}); imazethapyr (100 g.ha^{-1}); fomesafen (250 g.ha^{-1}), sendo os herbicidas diclosulam e sulfentrazone aplicados logo após a semeadura e os herbicidas imazethapyr e fomesafen 20 dias depois. Para a aplicação dos herbicidas utilizou-se de um pulverizador costal pressurizado com CO2, acoplado a barra com quatro pontas de pulverização tipo leque, modelo TTI 110.02, espaçados em 0,5 m com jato plano e indução a ar, que será calibrado para um volume de calda correspondente a 250 L.ha^{-1}. Durante a condução da soja não houve necessidade de aplicações de fungicidas e inseticidas, bem como o controle de plantas daninhas foi realizado por capinas manuais. Durante a condução da soja a média de temperatura diária oscilou entre 19,6°C e 28,5°C, e a precipitação pluviométrica acumulada durante o cultivo foi de 646,2 mm.

Após 120 dias realizou-se a colheita da soja. Em seguida foi realizado uma leve escarificação nos vasos e uma adubação de plantio com 500 kg.ha^{-1} de NPK 4-14-8 mais 23 kg.ha^{-1} de ureia. Em seguida realizou-se a semeadura das culturas de sucessão, colocando 10 sementes por vaso, que após a emergência foram deixadas apenas 3 plântulas. Foram semeadas as culturas do algodão com a variedade DP 1746 – B2RF, Milho com o híbrido 30F35VYHR, Sorgo com a cultivar B16J002F-X800 e Girassol com a variedade Multissol. Os ensaios foram arranjados em um delineamento de blocos casualizados, onde cada variedade foi semeada em vasos contendo um dos quatro herbicidas selecionados, bem como uma testemunha sem aplicação, compondo os cinco tratamentos por cultura, com quatro repetições, totalizando 20 parcelas por cultura. Durante a condução dos quatro ensaios foram realizadas duas adubações de cobertura com 90 kg.ha^{-1} de ureia aos 30 e 60 dias após emergência. Durante a condução das culturas realizou-se a aplicações preventivas de fungicidas e inseticidas, bem como o controle de plantas daninhas foi realizado por capinas manuais. Durante a condução das culturas de sucessão a média de temperaturas diárias oscilaram entre 15,4°C e 26,5°C, e a necessidade hídrica das culturas foram atendidas com irrigações diárias de 4,5 mm.

Aos 7, 15, 30 e 60 dias após a emergência (DAE) foram realizadas as avaliações de altura de planta, sendo mensurado a distância em centímetros da base rente ao solo até o ápice da planta, teor de clorofila, que foi mensurado com auxílio do aparelho SPAD, e nível de fitotoxicidade, mensurado através da escala da EWRC, que varia de 1 a 9, onde 1 significa fitotoxicidade nula e 9 a destruição completa da planta (CAMARGO, 1972). Aos 80 DAE realizou-se a coleta das parcelas, onde as plantas foram cortadas rente ao solo e armazenadas em sacos de papel. Após a coleta foi mensurado a área foliar, para isso as folhas das espécies estudadas foram cortadas e dispostas em uma superfície branca, em seguida com o auxílio de uma câmera realizou-se a fotografia das parcelas e com o auxílio do programa Image J determinou-se a área foliar em cm^2. Com a mensuração da área foliar completa, as plantas foram colocadas novamente em sacos de papel e levados a estufa a 60 °C durante 72 horas, em seguida foi obtido a massa seca em gramas/parcela.

Para a avaliação dos resultados realizou-se a tabulação dos dados obtidos de cada um dos quatro ensaios. Para análise dos tratamentos os dados foram distribuídos em blocos casualizados no nível de 5% de probabilidade submetendo-os à análise de variância (Anova), e havendo diferença estatística significativa entre as médias dos tratamentos através do teste F, realizou-se a comparação das mesmas pelo teste de Tukey a 5%. Os cálculos estatísticos foram efetuados com auxílio do programa R (R CORE TEAM, 2019).

3.3. Resultados e Discussão

3.3.1. Sucessão com algodão

Nas condições do experimento a avaliação de fitotoxicidade na cultura do algodão demonstraram diferença significativa em todas as avaliações. O tratamento com o herbicida diclosulam apresentou maior média de fitotoxicidade quando comparado aos demais tratamentos herbicidas (Tabela 1).

Tabela 1. Fitotoxicidade (escala EWRC) na cultura do algodão em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida), aos 7, 15, 30 e 60 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Fitotoxicidade na Escala EWRC				
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**			
	7	**15**	**30**	**60**
Diclosulam	2 **a**	2,7 **a**	3,5 **a**	7 **a**
Sulfentrazone	1 **b**	2 **ab**	2,5 **ab**	2,2 **b**
Imazethapir	1,5 **ab**	1,5 **bc**	1,5 **bc**	1,7 **b**
Fomesafen	1 **b**	1,5 **bc**	1,2 **c**	1,2 **b**
Testemunha	1 **b**	1 **c**	1 **c**	1 **b**
CV(%)	19,8	22,1	26,4	24,1

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Durante a avaliação de 7 DAE observou-se um maior efeito fitotóxico no algodão semeado em solo com a aplicação de diclosulam, diferindo dos demais herbicidas e da testemunha. Os tratamentos sulfentrazone, imazethapir e fomesafen apresentaram baixas médias de fitotoxicidade, igualando-se a testemunha. Os resultados das avaliações seguintes se assemelharam aos observados aos 7 DAE, apenas com uma maior evolução dos sintomas de fitotoxicidade. No tratamento com diclosulam observou-se um amarelecimento e necrose nas folhas cotiledonares, assim como uma redução no tamanho (Figura 1). Esses sintomas evoluíram, culminando em um elevado nível de fitotoxicidade na última avaliação.

Figura 2. Vasos com a cultura do algodão semeada em solo tratado com o herbicida diclosulam (esquerda) e testemunha (direita) aos 7 DAE.

Resultados correlatos foram observados por Dan *et al.* (2012b) na cultura do girassol, onde o herbicida diclosulam (35 g i.a.ha^{-1}) aplicado no cultivo de soja provocou elevado nível de fitotoxicidade em todas as avaliações realizadas no ensaio, apresentando manchas cloróticas nas folhas próximas ao meristema apical, semelhantes as observadas no algodão aos 7 DAE (Figura 1). No entanto para Matte *et al.* (2018) realizando trabalho similar observaram que o herbicida diclosulam (35 g i.a.ha^{-1}) aplicado na cultura da soja provocou intoxicação de

aproximadamente 5% aos 14, 20 e 27 dias após semeadura, e em dose de até 70 g i.a.ha^{-1} não foi suficiente para reduzir a produtividade e qualidade de fibra do algodoeiro. Uma explicação dada pelos autores sobre a baixa fitotoxicidade está na alta precipitação acumulada durante o cultivo da soja, chegando a 637 mm. Além disso o maior teor de argila e matéria orgânica, aliados a maiores médias de temperatura podem ter contribuído para a aceleração da degradação do herbicida, provocando então a divergência nos resultados. Segundo Rodrigues e Almeida (2011) a velocidade de degradação do diclosulam está diretamente relacionada a atividade microbiana do solo.

As avaliações de altura de planta na cultura do algodão demonstraram diferença significativa a partir dos 15 DAE. O tratamento com o herbicida diclosulam apresentou maior redução na altura quando comparado aos demais tratamentos herbicidas (Tabela 2).

Tabela 2. Altura de planta (cm) do algodão em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida), aos 7, 15, 30 e 60 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Altura de planta (cm)				
Herbicidas2	**Dias após a emergência (DAE)**			
	7	**15**	**30**	**60**
Diclosulam	4,7	6 **b**	9,4 **b**	11,6 **b**
Sulfentrazone	4,8	8,7 **ab**	16,3 **ab**	22,4 **ab**
Imazethapir	6,1	10,2 **ab**	21,4 **a**	25,1 **a**
Fomesafen	6	11,6 **ab**	22,4 **a**	26,5 **a**
Testemunha	7	12,7 **a**	23,3 **a**	28,1 **a**
CV(%)	26,6	26,3	23,3	21,6

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Na primeira avaliação não foi observado diferença entre os tratamentos herbicidas e a testemunha. Contudo nas avaliações seguintes o tratamento com diclosulam apresentou média de altura inferior a testemunha e aos demais herbicidas. Os tratamentos com sulfentrazone, imazethapir e fomesafen se assemelharam a testemunha na altura de plantas de algodão. Bustos-Painii *et al.* (2021) avaliando os efeitos do resíduo de herbicidas inibidores da ALS sobre cultivares de aveia, e observaram que a característica redução do crescimento apresenta alta sensibilidade ao herbicida diclosulam.

Os resultados observados para a variável teor de clorofila na cultura do algodão demonstraram diferença significativa apenas nas avaliações de 7 e 15 DAE (Tabela 3). Nas avaliações seguintes não foi mais observado diferença entre os tratamentos.

Tabela 3. Teor de clorofila (escala SPAD) do algodão em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida), aos 7, 15, 30 e 60 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Teor de clorofila na escala SPAD				
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**			
	7	**15**	**30**	**60**
Diclosulam	54,6 **a**	37,3 **a**	28,1	24,4
Sulfentrazone	46,4 **b**	29,4 **b**	26,8	26,9

Imazethapir	48,6 **ab**	32,2 **ab**	30,1	30,2
Fomesafen	41,5 **b**	32,7 **ab**	29,4	30,6
Testemunha	42,4 **b**	32,6 **ab**	31,7	32,3
CV(%)	7,7	8,9	14,4	18,6

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Na análise do teor de clorofila observou-se que nas avaliações aos 7 e 15 DAE houve diferença significativa, sendo o tratamento com o herbicida diclosulam o qual apresentou médias superiores a testemunha para essa característica. Contudo nas avaliações de 30 e 60 DAE não se observou mais a diferença entre os tratamentos. O aumento do teor de clorofila no tratamento com o herbicida diclosulam, observado nas primeiras avaliações poderia ser uma consequência dos maiores níveis de fitotoxicidade encontrados nesse tratamento. No entanto, por não persistir no decorrer do ensaio, esta característica não apresentou uma correlação com as demais avaliadas para a cultura do algodão. Assim como foi concluído por Ribeiro (2018) avaliando carryover de herbicidas sobre culturas em sucessão a soja observou que o algodão semeado em solo tratado com o herbicida diclosulam não apresentou diferença a testemunha sem aplicação nos principais parâmetros que medem o desempenho fotossintético.

3.3.2. Sucessão com milho

Na avaliação de fitotoxicidade da cultura do milho, foi observado diferença significativa em todas as avaliações realizadas durante a condução do experimento. O tratamento com o herbicida fomesafen apresentou maior média de fitotoxicidade quando comparado aos demais tratamentos herbicidas (Tabela 4).

Tabela 4. Fitotoxicidade (escala EWRC) na cultura do milho em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida), aos 7, 15, 30 e 60 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Fitotoxicidade na Escala EWRC				
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**			
	7	**15**	**30**	**60**
Diclosulam	2 **a**	2 **b**	2 **ab**	1,7 **ab**
Sulfentrazone	1 **b**	1,5 **bc**	1,7 **ab**	1,5 **ab**
Imazethapir	2 **a**	2 **b**	1,7 **ab**	1,5 **ab**
Fomesafen	2,7 **a**	3 **a**	2,7 **a**	2,5 **a**
Testemunha	1 **b**	1 **c**	1 **b**	1 **b**
CV(%)	24,4	21,4	24,6	31,3

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Figura 3. Vasos com a cultura do milho semeada em solo tratado com os herbicidas diclosulam (A), fomesafen (B) e testemunha (C) aos 7 DAE.

Aos 7 e 15 DAE observou-se um maior efeito fitotóxico no milho semeado em solo tratado com os herbicidas diclosulam e fomesafen durante o cultivo da soja, apresentando diferença com os demais tratamentos e testemunha. Nas avaliações seguintes de uma forma geral houve uma leve redução nos sintomas de fitotoxicidade nos tratamentos. Na avaliação de 7 DAE observou-se uma clorose no sentido das nervuras das folhas, sendo mais severa no tratamento com o herbicida fomesafen (Figura 2). Contudo com o desenvolvimento da cultura os sintomas de fitotoxicidade foram reduzidos, se limitando as folhas mais velhas. Trabalhos realizados por Cobucci *et al.* (1997), Dan *et al.* (2012a) e Gueno *et al.* (2015) observaram que em alguns casos o herbicida fomesafen provocou uma fitotoxicidade ao milho através de manchas cloróticas, contudo esses efeitos não comprometeram a produtividade e demais características produtivas da cultura. Então, apesar dos evidentes sintomas de fitotoxicidade observados com maior destaque no tratamento com fomesafen, a cultura teria a capacidade de superar esses danos até o fim do ciclo, não comprometendo as características produtivas.

Os resultados obtidos para a variável altura de planta na cultura do milho não demonstraram diferença significativa em todas as avaliações realizadas durante a condução do experimento (Tabela 5).

Tabela 5. Altura de planta (cm) do milho em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida), aos 7, 15, 30 e 60 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Altura de planta (cm)				
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**			
	7	**15**	**30**	**60**
Diclosulam	15,4	32,0	44,8	45,1
Sulfentrazone	17,9	39,7	43,8	45,1
Imazethapir	18,0	40,1	43,6	42,5
Fomesafen	13,1	32,1	45,2	47,2
Testemunha	17,9	37,4	48,1	47,5
CV(%)	15,4	12,4	10,93	9,3

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Apesar da diferença significativa entre o tratamento com fomesafen e a testemunha para a característica nível de fitotoxicidade, a altura de planta não sofreu influência dos herbicidas. Dan *et al.* (2012a) avaliando o carryover de herbicidas empregados na soja sobre o milho em sucessão observaram uma redução significativa na altura de planta entre o tratamento com diclosulam e a testemunha, contudo essa mesma diferença não foi observada pelos autores para o herbicida fomesafen. Esse resultado pode ser explicado pela elevada lâmina de chuva acumulada aliada a altas temperaturas presentes durante a condução do experimento que podem ter potencializado a degradação e lixiviação dos herbicidas.

Assim como na característica altura de planta, para a variável teor de clorofila na cultura do milho não foi observado diferença significativa em todas as avaliações realizadas durante a condução do experimento (Tabela 6).

Tabela 6. Teor de clorofila (escala SPAD) do milho em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida), aos 7, 15, 30 e 60 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Teor de clorofila escala SPAD				
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**			
	7	**15**	**30**	**60**
Diclosulam	30,5	30,9	19,2	10,6
Sulfentrazone	37,5	30,2	17,6	15,7
Imazethapir	36,9	31,8	17,3	10,7
Fomesafen	29,0	31,7	20,8	11,3
Testemunha	39,7	29,3	20,8	12,4
CV(%)	16,0	11,4	19,8	37,4

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Apesar dos sintomas visuais de clorose observados com maior intensidade aos 7 DAE, não foi observado uma correlação com o teor de clorofila. Contudo o que se observa é uma contínua redução no teor de clorofila em todo o experimento, possivelmente provocada pelo crescimento da cultura frente a limitação imposta pelo tamanho da unidade experimental.

3.3.3. Sucessão com girassol

Na avaliação de fitotoxicidade da cultura do girassol observou-se diferença significativa em todas as avaliações. O tratamento com diclosulam apresentou maior média de fitotoxicidade quando comparado aos demais tratamentos herbicidas (Tabela 7).

Tabela 7. Fitotoxicidade (escala EWRC) na cultura do girassol em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida), aos 7, 15, 30 e 60 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Fitotoxicidade na Escala EWRC				
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**			
	7	**15**	**30**	**60**
Diclosulam	3 **a**	4,2 **a**	5 **a**	7,7 **a**
Sulfentrazone	1 **b**	1 **b**	1 **b**	2 **b**
Imazethapir	1,5 **b**	1,5 **b**	1,5 **b**	2,2 **b**
Fomesafen	1 ,5 **b**	1,5 **b**	1 **b**	2 **b**
Testemunha	1 **b**	1 **b**	2 **b**	1 **c**
CV(%)	22,8	33,4	21,3	11,7

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Figura 4. Vasos com a cultura do girassol semeada em solo tratado com o herbicida diclosulam (esquerda) e testemunha (direita) aos 7 DAE.

Aos 7 DAE foi observado um maior efeito fitotóxico no girassol semeado em vasos com o tratamento diclosulam, diferindo dos demais herbicidas e testemunha. Os resultados de 15, 30 e 60 DAE foram semelhantes aos observados na primeira avaliação, apenas acrescido com a evolução dos sintomas de fitotoxicidade. Os demais tratamentos herbicidas também apresentaram uma diferença com a testemunha, contudo os sintomas foram mais leves quando comparados ao tratamento com diclosulam. Durante a condução do ensaio foi observado no tratamento com diclosulam um leve amarelecimento das folhas aliado a uma grande redução no desenvolvimento da cultura (Figura 3). Esses resultados corroboram com os concluídos por Brighenti *et al.* (2002), Dan *et al.* (2012b) e Monqueiro *et al.* (2013)

que também observam elevado nível de fitotoxicidade do algodão semeado em área tratada com diclosulam durante o cultivo da soja.

Os resultados obtidos para a variável altura de planta na cultura do girassol demonstraram diferença significativa em todas as avaliações realizadas durante a condução do experimento. Assim como foi observado em fitotoxicidade, na altura de planta o herbicida diclosulam provocou elevada redução de crescimento (Tabela 8).

Tabela 8. Altura de planta (cm) do girassol em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida), aos 7, 15, 30 e 60 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Altura de planta (cm)				
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**			
	7	**15**	**30**	**60**
Diclosulam	2,5 **b**	4,8 **b**	8,8 **b**	11,3 **b**
Sulfentrazone	6,9 **ab**	15,7 **a**	36,2 **a**	60,6 **a**
Imazethapir	5,9 **ab**	15,4 **a**	37,4 **a**	65,0 **a**
Fomesafen	6,4 **ab**	13,0 **a**	34,9 **a**	69,5 **a**
Testemunha	8,5 **a**	10,7 **a**	26,6 **a**	50,5 **a**
CV(%)	35,2	22,0	23,1	27,1

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

A partir da avaliação de 15 DAE o tratamento com diclosulam apresentou média de altura inferior a testemunha e aos demais tratamentos herbicidas. Os tratamentos sulfentrazone, imazethapir e fomesafen equipararam-se a testemunha na altura de planta. Os resultados evidenciaram uma redução de aproximadamente 78% da altura de planta da cultura do girassol quando semeado em solo tratado com diclosulam. Essas conclusões se assemelham aos observados por Monqueiro *et al.* (2013), que identificaram uma redução na altura de planta da cultura do girassol próxima a 60% no tratamento com o herbicida diclosulam.

Os resultados observados para a variável teor de clorofila na cultura do algodão demonstraram diferença significativa apenas na avaliação 60 DAE. Nas avaliações anteriores não foi observado diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 9).

Tabela 9. Teor de clorofila (escala SPAD) do girassol em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida), aos 7, 15, 30 e 60 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Teor de clorofila escala SPAD				
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**			
	7	**15**	**30**	**60**
Diclosulam	29,0	31,4	23,4	18,7 **b**
Sulfentrazone	27,7	35,0	28,2	28,4 **a**
Imazethapir	27,8	32,9	31,2	25,3 **ab**
Fomesafen	24,3	34,1	30,8	28,1 **a**
Testemunha	28,1	31,0	31,2	29,4 **a**
CV(%)	17,0	16,3	26,9	14,8

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Na avaliação realizada aos 60 DAE foi observado um menor teor de clorofila no tratamento com diclosulam em relação a testemunha. Esse resultado está relacionado com os sintomas observados durante as avaliações de fitotoxicidade, no qual o tratamento com diclosulam destacava-se pela presença de manchas cloróticas nas folhas durante a condução do experimento.

3.3.4. Sucessão com sorgo

Os resultados obtidos para a variável fitotoxicidade na cultura do sorgo demonstraram diferença significativa em todas as avaliações. Os tratamentos com sulfentrazone, imazethapir e fomesafen apresentaram maior média de fitotoxicidade quando comparado a testemunha e ao herbicida diclosulam (Tabela 10).

Tabela 10. Fitotoxicidade (escala EWRC) na cultura do sorgo em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida), aos 7, 15, 30 e 60 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Fitotoxicidade na Escala EWRC				
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**			
	7	**15**	**30**	**60**
Diclosulam	2 **c**	2 **c**	2 **b**	1,7 **c**
Sulfentrazone	5 **a**	5 **a**	5 **a**	7,5 **a**
Imazethapir	3,5 **b**	3,5 **b**	4,2 **a**	4,5 **b**
Fomesafen	3,2 **b**	4,5 **ab**	4,5 **a**	4,5 **b**
Testemunha	1 **c**	1 **c**	1 **b**	1 **c**
CV(%)	17,5	17,3	14,4	15,0

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

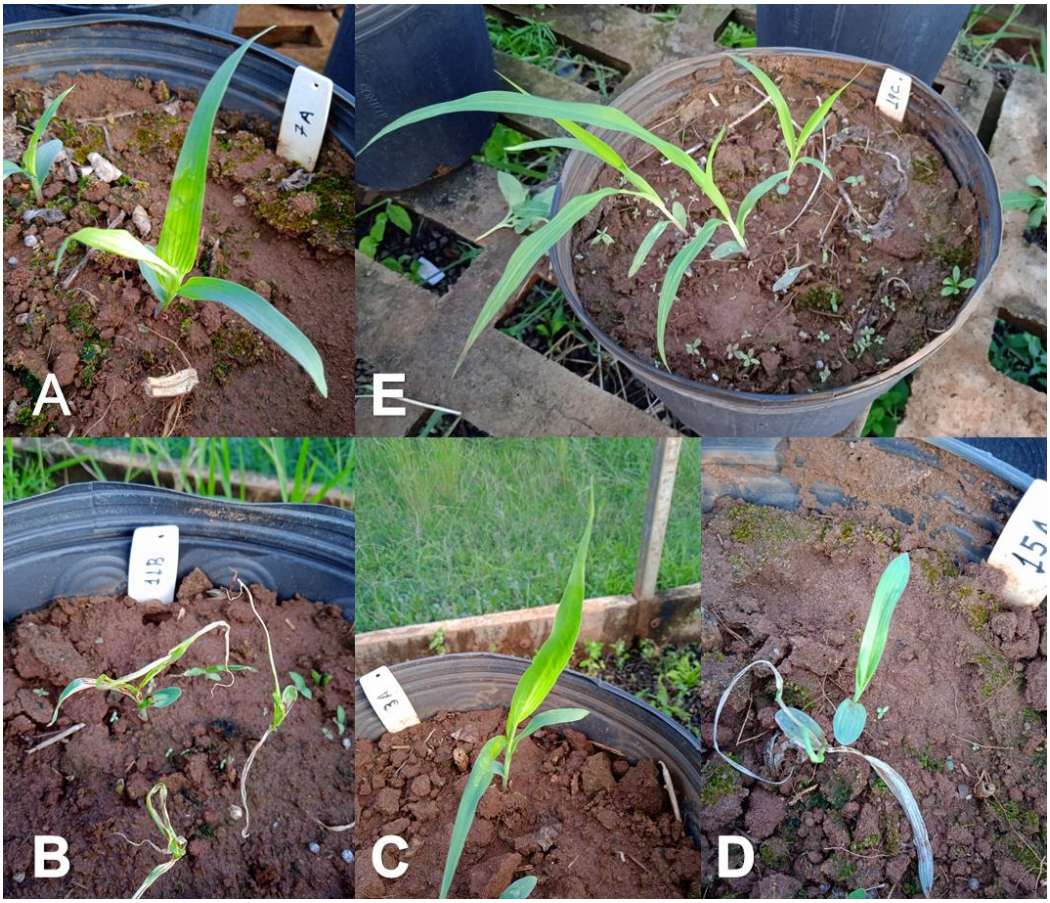

Figura 5. Vasos com a cultura do sorgo semeada em solo tratado com os herbicidas imazethapir (A), sulfentrazone (B), diclosulam (C), fomesafen (D) e testemunha (E) aos 7 DAE.

Na avaliação realizada aos 7 DAE observou-se um maior efeito fitotóxico no sorgo semeado em solo tratado com os herbicidas sulfentrazone, imazethapir e fomesafen. Aos 15, 30 e 60 DAE foram encontrados resultados semelhantes aos observados na primeira avaliação, apenas com uma evolução dos sintomas de fitotoxicidade, sendo o destaque para o tratamento sulfentrazone com as maiores médias de fitotoxicidade. O tratamento com o herbicida diclosulam demonstrou baixa fitotoxicidade ao sorgo, exibindo apenas sintomas leves e que foram superados com o decorrer das avaliações. Nos tratamentos com elevada fitotoxicidade foram observados sintomas como um amarelecimento das folhas, e que evoluíram para manchas avermelhadas, seguidos da necrose e morte do tecido foliar (Figura 4). Esses resultados corroboram com os observados por Dan *et al.* (2010) onde os autores observaram efeito fitotóxico na cultura do sorgo semeado em área tratada com os herbicidas sulfentrazone e imazethapir durante o cultivo da soja.

Os resultados obtidos para a variável altura de planta na cultura do sorgo demonstraram diferença significativa em todas as avaliações realizadas durante a condução do experimento. Semelhante ao observado em fitotoxicidade, na altura de planta os tratamentos com os herbicidas sulfentrazone, imazethapir e fomesafen apresentaram elevada redução no crescimento, sendo mais severo no tratamento com sulfentrazone (Tabela 11).

Tabela 11. Altura de planta (cm) do sorgo em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida), aos 7, 15, 30 e 60 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Altura de planta (cm)				
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**			
	7	**15**	**30**	**60**
Diclosulam	13,5 **a**	39,0 **a**	51,2 **a**	89,5 **ab**
Sulfentrazone	5,5 **b**	11,1 **b**	15,9 **b**	35,7 **c**
Imazethapir	10,6 **ab**	22,9 **ab**	35,3 **ab**	61,5 **bc**
Fomesafen	6,6 **b**	21,6 **ab**	33,7 **ab**	60,1 **bc**
Testemunha	16,1 **a**	35,9 **a**	52,4 **a**	104,6 **a**
CV(%)	27,2	30,1	32,9	25,5

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

A partir da avaliação de 7 DAE os tratamentos com sulfentrazone, imazethapir e fomesafen apresentaram média de altura estatisticamente inferior a testemunha. Para a cultura do sorgo o tratamento com sulfentrazone demonstrou maiores efeitos negativos sobre o crescimento, evidenciado pela redução em 66% na altura de planta quando comparado com a testemunha aos 60 DAE. No tratamento com o herbicida diclosulam não foi observado redução significativa na altura de planta quando comparado com a testemunha.

Os resultados observados para a variável teor de clorofila na cultura do sorgo demonstraram diferença significativa apenas na avaliação 60 DAE. Nas avaliações anteriores não foi observado diferença significativa entre os tratamentos. Apesar da avaliação de 60 DAE apresentar uma diferença estatística entre os tratamentos, este resultado não apresentou correlação com as outras características avaliadas (Tabela 12).

Tabela 12. Teor de clorofila (escala SPAD) do sorgo em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida), aos 7, 15, 30 e 60 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Teor de clorofila escala SPAD				
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**			
	7	**15**	**30**	**60**
Diclosulam	29,3	35,1	26,9	27,8 **ab**
Sulfentrazone	23,6	26,0	22,9	28,8 **ab**
Imazethapir	23,5	32,2	28,6	30,8 **ab**
Fomesafen	14,1	31,8	24,9	19,2 **b**
Testemunha	27,3	32,3	19,0	35,0 **a**
CV(%)	35,6	22,8	24,6	18,9

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

3.3.5. Avaliação área foliar e massa seca

Na avaliação da área foliar as culturas do algodão, girassol e sorgo apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, apenas para o experimento com o cultivo de milho não foi observada diferença significativa para esta característica (Tabela 13). Para a variável massa seca observou-se resultados semelhantes aos concluídos na característica área foliar (Tabela 14).

Tabela 13. Área foliar das culturas do algodão, milho, girassol e sorgo em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida) 80 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Área foliar (cm^2)				
Herbicidas	**Culturas**			
	Algodão	**Milho**	**Girassol**	**Sorgo**
Diclosulam	409,2 **b**	3235,2	197,3 **b**	1716,3 **ab**
Sulfentrazone	1107,2 **a**	2794,2	528,4 **ab**	806,1 **b**
Imazethapir	1170,01 **a**	2760,4	1160,6 **ab**	1257,7 **ab**
Fomesafen	1095,5 **a**	3961,5	602,9 **ab**	1535,4 **ab**
Testemunha	853,5 **ab**	2961,1	1370,8 **a**	1922,4 **a**
CV(%)	28,6	18,3	37,8	33,6

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Tabela 14. Massa seca das culturas do algodão, milho, girassol e sorgo em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida) 80 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Massa seca (g)				
Herbicidas	**Culturas**			
	Algodão	**Milho**	**Girassol**	**Sorgo**
Diclosulam	5,2 **b**	57,8	4,9 **b**	53,9 **a**
Sulfentrazone	10,8 **ab**	58,3	23,8 **ab**	11,6 **b**
Imazethapir	16,9 **a**	44,7	26,9 **ab**	42,5 **ab**
Fomesafen	16,9 **a**	64,6	35,6 **a**	38,0 **ab**
Testemunha	12,1 **ab**	46,9	32,6 **a**	71,3 **a**
CV(%)	32,7	32,1	44,3	42,2

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

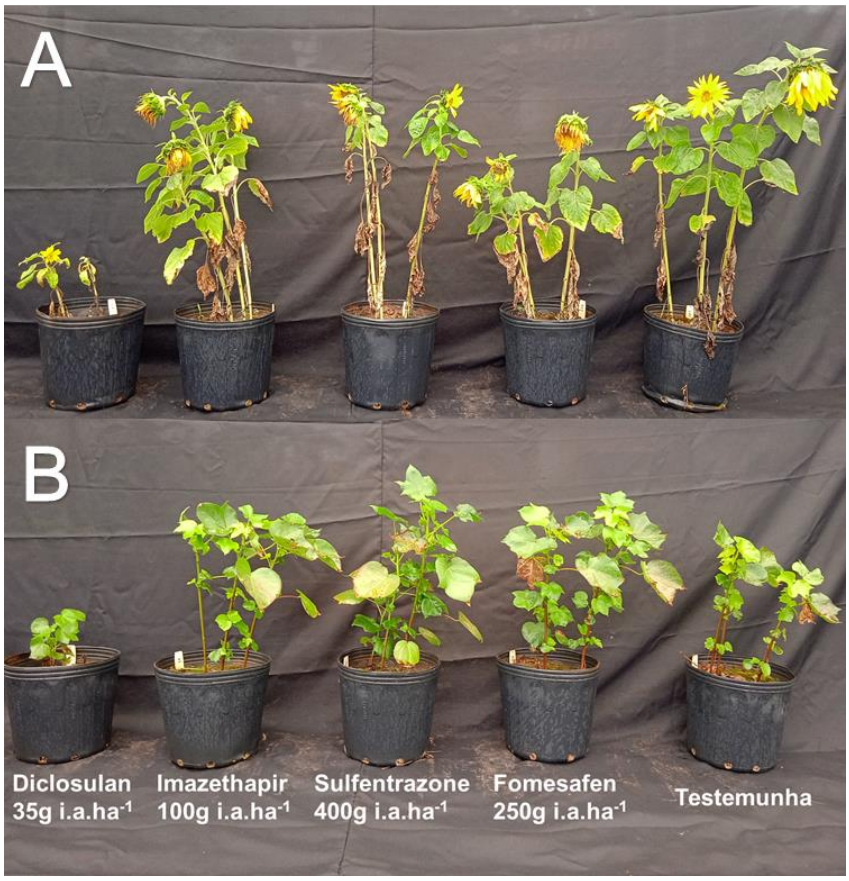

Figura 6. Vasos com a cultura do girassol (A) e algodão (B) semeados em solo tratado com os herbicidas diclosulam, imazethapir, sulfentrazone, fomesafen e testemunha aos 80 DAE.

Nas culturas do algodão e girassol o tratamento com diclosulam apresentou as menores médias de área foliar e massa seca, evidenciado pelo menor número e tamanho de folhas, aliado ao menor porte da planta como pode ser observado na Figura 5. No tratamento com diclosulam, os elevados sintomas fitotóxicos e reduções no crescimento observados em nível de fitotoxicidade e altura de planta influenciaram em uma menor área foliar e porte das culturas do girassol e algodão. Em trabalho realizado por Dan *et al.* (2012b) observaram uma redução de 42,16% na massa seca do girassol semeado 115 dias após a aplicação de diclosulam durante o cultivo da soja. A redução no crescimento observada em ambas as culturas tem como causa a inibição da atividade da enzima acetolactato sintase (ALS). Esse efeito se deve pela paralização do crescimento apical em função da redução da biossíntese de valina, leucina e isoleucina, aminoácidos essenciais ao desenvolvimento vegetal (TAN *et al.*, 2006). Em contrapartida, Matte *et al.* (2019) concluíram que o herbicida diclosulam aplicado 115 dias antes da semeadura do algodão não promoveu efeitos significativos aos componentes de produtividade da cultura mesmo na dose de 70 $g.ha^{-1}$.

Figura 7. Vasos com a cultura do milho semeado em solo tratado com os herbicidas diclosulam, imazethapir, sulfentrazone, fomesafen e testemunha aos 80 DAE.

No experimento com milho não foi observado diferença significativa entre os tratamentos e a testemunha para as características área foliar e massa seca. Apesar do tratamento com fomesafen apresentar um maior nível de fitotoxicidade, não houve influência sobre as variáveis área foliar e massa seca da cultura. Levando a concluir que apesar dos efeitos fitotóxicos inicias, a cultura conseguiu superar e não comprometeu seu desenvolvimento (Figura 6). Assim como foi observado por Pinho *et al.* (2019) e Francischini *et al.* (2020) os herbicidas flumioxazim e sulfentrazone aplicados 120 dias antes da semeadura do milho não afetou a massa seca da parte aérea.

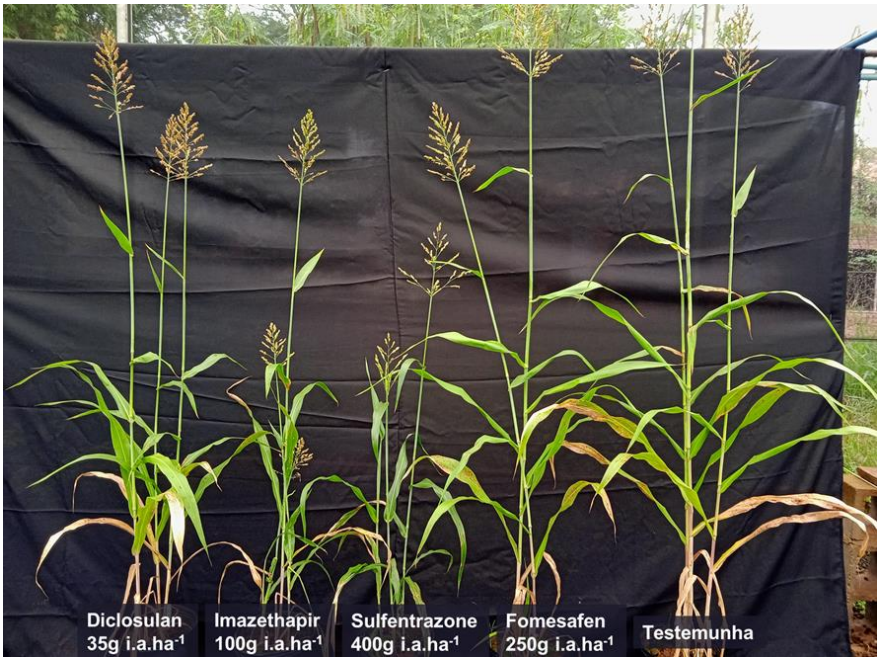

Figura 8. Vasos com a cultura do sorgo semeado em solo tratado com os herbicidas diclosulam, imazethapir, sulfentrazone, fomesafen e testemunha aos 80 DAE.

Na cultura do sorgo apenas o tratamento com o herbicida sulfentrazone apresentou as menores médias de área foliar e massa seca, sendo estatisticamente inferior a testemunha. As baixas médias de área foliar e massa seca no tratamento com o herbicida sulfentrazone estão relacionadas aos elevados níveis de fitotoxicidade e reduções de crescimento observados no decorrer do experimento, que influenciaram em uma menor área foliar e porte da planta, como pode ser observado na Figura 7. Assim como foi observado por Vivian *et al.* (2006) em estudo avaliando os efeitos da aplicação de sulfentrazone na cultura da cana-de-açúcar sobre o sorgo, concluíram que a mesmo após 640 dias da primeira aplicação e 197 dias da segunda aplicação houve uma redução em 46,06% da massa seca de parte aérea da cultura em sucessão. A resposta para os resultados expostos está nas próprias características do herbicida. A alta sorção e baixa dessorção garantem ao sulfentrazone longa permanência no solo, a qual é favorecida também pela sua baixa mineralização (REDDY e LOCKE, 1998), além disso os teores de argila e matéria orgânica do solo apresentam alta influência na persistência deste herbicida (FAUSTINO *et al.*, 2015).

3.4. Conclusões

A sucessão com algodão apresentou maior sensibilidade ao herbicida diclosulam quando aplicado em pré-emergência da soja.

Na sucessão com milho, apesar dos sintomas de toxidez presentes em todos os tratamentos, não foi observado sensibilidade a nenhum dos herbicidas quando aplicados durante o cultivo da soja.

Na sucessão com girassol observou-se uma sensibilidade a todos os herbicidas aplicados durante o cultivo da soja, no entanto os sintomas mais severos foram encontrados no tratamento com o pré-emergente diclosulam.

A sucessão com sorgo apresentou maior sensibilidade aos herbicidas sulfentrazone, imazethapyr e fomesafen aplicados durante o cultivo da soja.

Os efeitos negativos promovidos pela sensibilidade das culturas aos herbicidas aplicados na soja foram mais expressivos nas características níveis de fitotoxicidade, altura de planta, área foliar e massa seca. No entanto a característica teor de clorofila apresentou uma baixa expressão dos sinais de sensibilidade aos herbicidas.

Referências

BRIGHENTI, A. M. *et al.* Persistência e fitotoxicidade de herbicidas aplicados na soja sobre o girassol em sucessão. **Pesq. agropec. Bras**., Brasília, v. 37, n. 4, p. 559-565, abr. 2002.

BUSTOS-PAINII, D. *et al.* Sensibilidad diferencial de cultivares de avena a residuos de herbicidas inhibidores de la ALS/AHAS. La Pampa: **Notas Agrícolas Pampeanas**, n. 3, p. 16-20, abr. 2021.

CAMARGO, P. N. **Controle químico de plantas daninhas**. 4.ed. Piracicaba: ESALQ, 1972. 421p.

COBUCCI, T. *et al.* Efeito de resíduo no solo de fomesafen, aplicado no feijão, no milho em sucessão. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 15, p. 180-189, abr. 1997. DOI: 10.1590/S0100-83581997000200011. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83581997000200011. Acesso em: 17 nov. 2021.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Primeiro levantamento**, outubro 2021 – safra 2021/2022. : Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2021. Disponível em: < https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 17 nov. 2021.

COSTA, A. I. G. *et al.* Mobility and persistence of the herbicide fomesafen in soils cultivated with bean plants using SLE/LTP and HPLC/DAD. **Environ Sci Pollut Res**, v. 22, n. 5, p. 3457-3466, 2015. DOI: 10.1007/s11356-014-3557-5. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11356-014-3557-5. Acesso em: 17 nov. 2021.

DAN, H. A. *et al.* Atividade residual de herbicidas usados na soja sobre o girassol cultivado em sucessão. **Ciência Rural**, v. 42, n. 11, p. 1929-1935, nov. 2012b. DOI: 10.1590/S0103-84782012005000081. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000081. Acesso em: 17 nov. 2021.

DAN, H. A. *et al.* Atividade residual de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o sorgo granífero cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. spe, p.1087-1095, 2010. DOI: 10.1590/S0100-83582010000500016. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000500016. Acesso em: 17 nov. 2021.

DAN, H. A. *et al.* Resíduos de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 86-91, mar. 2012a.

FAUSTINO, L. A. *et al.* Mobilidade do sulfentrazone em solos com diferentes características físicas e químicas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 795–802, dez. 2015. DOI: 10.1590/S0100-83582015000400018. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582015000400018. Acesso em: 17 nov. 2021.

FRANCISCHINI, A. C. *et al.* Carryover de herbicidas utilizados no controle de soqueiras do algodoeiro sobre o milho cultivado em sucessão. **Rev. Ciênc. Agrovet.**, Lages, v. 19, n. 3, p. 305–318, 2020. DOI: 10.5965/223811711932020305. Disponível em: https://doi.org/10.5965/223811711932020305. Acesso em: 17 nov. 2021.

GHENO, E. A. *et al.* Atividade residual de herbicidas aplicados em diferentes modalidades no algodoeiro sobre milho cultivado em sucessão. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 3, p. 335-345, 2015. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v14n3p335-345. Disponível em: http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n3p335-345. Acesso em: 17 nov. 2021.

GONÇALVES, F. A. R. *et al.* Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da soja. **Rev. Cienc. Agrar**., Viçosa, v. 61, abr. 2018. DOI 10.22491/rca.2018.2570. Disponível em: http://dx.doi.org/10.22491/rca.2018.2570. Acesso em 17 de nov. 2021.

MATTE, W. D. *et al.* Efeito residual de herbicidas no sistema soja-algodão. In: GUIMARÃES, A. C. D. *et al.* (org.). Estratégia de manejo de plantas daninhas para novas fronteiras agrícolas. Curitiba, PR: **Editora da SBCPD**. Cáceres, MT: **Editora da Unemat**, 2018. Cap. 5, p. 70-81.

MATTE, W. D. *et al.* Residual Activity of Diclosulam Applied to Soybean on Cotton Crop in Succession. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 37, 2019. DOI: 10.1590/s0100-83582019370100016. Disponível em: https://doi.org/10.1590/s0100-83582019370100016. Acesso em: 17 nov. 2021.

MONQUERO, P. A. *et al.* Persistência de imazaquim e diclosulam em função da umidade do solo. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 7, n. 3, p. 331-337, dez. 2013.

OLIVEIRA, M. F. Comportamento de Herbicidas no Ambiente. In: OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J (org). **Plantas Daninhas e seu Manejo**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 362p.

PINHO, C.F.D. *et al.* Efeito residual de herbicidas pré-emergentes em milho cultivado em sucessão a soja. In: SANTOS, C. A. e RIBEIRO J. C. (org.). Desafios e sustentabilidade no manejo de plantas. Ponta Grossa, **Atena Editora**, 2019. Cap. 5, p. 58-68.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponível em: https://www.R-project.org. Acesso em: nov. 2021

REDDY, K. N.; LOCKE, M. A. Sulfentrazone sorption, desorption, and mineralization in soils from two tillage systems. **Weed Sci.**, v. 46, n. 4, p. 494-500, 1998. DOI: 10.1017/S0043174500090950. Disponível em: https://doi.org/10.1017/S0043174500090950. Acesso em: 17 nov. 2021.

RIBEIRO, L. M. *et al.* Produtividade da soja em sucessão a cultivos de outono-inverno. **Agrarian**, Dourados v. 11, n. 40, p. 120-131, ago. 2018. DOI: 10.30612/agrarian.v11i40.537. Disponível em: https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i40.537. Acesso em: 17 nov. 2021.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6.ed. Londrina: Edição dos Autores, 2011. 697 p.

SANTOS, G. *et al.* Carryover proporcionado pelos herbicidas s-metolachlor e trifluralin nas culturas de feijão, milho e soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 827-834, 2012. DOI: 10.1590/S0100-83582012000400017. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582012000400017. Acesso em: 17 nov. 2021.

SILVA, A. F. *et al.* Densidades de plantas daninhas e épocas de controle sobre os componentes de produção da soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n.1, p. 65-71, 2008. DOI: 10.1590/S0100-83582008000100007. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000100007. Acesso em: 17 nov. 2021.

SOUZA, G. V. **Comportamento no solo dos herbicidas diuron e hexazinone aplicados isolados e em misturas**. 2016. 680f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

TAN, S. *et al.* Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. **Amino Acids**, n. 30, p. 195–204, mar. 2006. DOI: 10.1007/s00726-005-0254-1. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s00726-005-0254-1. Acesso em: 17 nov. 2021.

VIVIAN, R. *et al.* Persistência de sulfentrazone em argissolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 741-750, 2016. DOI: 10.1590/S0100-83582006000400015. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582006000400015. Acesso em: 17 nov. 2021.

4. RESIDUAL DE HERBICIDAS APLICADOS NA SOJA SOBRE ESPÉCIES DE COBERTURA DE INVERNO

Resumo

Os sistemas de produção atualmente empregados no Brasil, em virtude das condições tropicais permitem aos produtores realizarem mais de um cultivo durante a safra agrícola, como o cultivo de soja com sucessão de alguma espécie produtora de grãos ou com função de cobertura de solo. O uso de espécies de cobertura traz consigo diversos benefícios ao solo e aos cultivos das safras seguintes. Contudo o estreitamento do intervalo entre a aplicação de herbicidas residuais no cultivo da soja e a semeadura de uma segunda cultura pode ampliar as chances de ocorrer carryover de herbicidas. Diante desta problemática o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos fitotóxicos em decorrência do carryover dos herbicidas: diclosulam, imazethapir, sulfentrazone e fomesafen quando empregados no cultivo de soja, através do impacto nas espécies de cobertura. Foram instalados simultaneamente quatro ensaios em casa de vegetação localizada em área experimental da ESALQ/USP no delineamento inteiramente casualizados com quatro repetições, em vasos de 1,5 L contendo solo de textura argilosa, o substrato foi retirado de campo experimental onde inicialmente foi simulado o cultivo de soja com o emprego dos quatro herbicidas selecionados para o estudo, 60 dias após a colheita da soja realizou-se a coleta do solo e a semeadura das espécies de cobertura do milheto (*Pennisetum glaucum ssp. glaucum L.*), braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), aveia-preta (*Avena strigosa*) e tremoço-branco (*Lupinus albus*). Durante a condução dos experimentos foram realizadas avaliações de fitotoxicidade, altura de planta e teor de clorofila aos 7,14 e 21 dias após a emergência (DAE) e a determinação de massa seca aos 21 DAE. Nos experimentos com braquiária e aveia-preta observou-se que ambas as espécies apresentaram maior sensibilidade aos herbicidas diclosulam, sulfentrazone e imazethapyr, apenas no tratamento com fomesafen as espécies foram estatisticamente semelhantes a testemunha. Na cultura do milheto, mesmo com a semeadura 180 dias após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes observou-se elevada sensibilidade aos quatro herbicidas, comprometendo significativamente o desenvolvimento e produção de massa vegetal. A espécie tremoço-branco não apresentou sensibilidade a nenhum dos herbicidas aplicados, apresentando desempenho semelhante a testemunha em todos os tratamentos. Conclui-se que os herbicidas diclosulam, sulfentrazone e imazethapyr apresentam potencial carryover sobre o cultivo da braquiária e aveia-preta em sucessão a soja. Todos os quatro herbicidas demonstraram potencial carryover para a espécie milheto semeada 180 dias após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes. Já para a cultura do tremoço-branco não foi observado efeito carryover dos herbicidas empregados no presente trabalho.

Palavras-chave: sucessão de culturas, espécies de cobertura, carryover, persistência no solo

Abstract

Residual of herbicides applied to soybean on winter cover crops

The production systems currently employed in Brazil, due to the tropical conditions allow farmers to produce more than one crop during the agricultural season, such as soybean cultivation with succession of some grain-producing species or with the function of soil coverage. The use of cover crops brings several benefits to the soil and to the crops of the following seasons. However, shortening the interval between the application of residual herbicides in the soybean crop and the sowing of a second crop can increase the chances of herbicide carryover. In view of this problem, the present work aimed to evaluate the phytotoxic effects due to the carryover of the herbicides: diclosulam, imazethapyr, sulfentrazone and fomesafen when used in soybean cultivation, through the impact on the cover crops. Four trials were simultaneously installed in the greenhouse located in the experimental area of ESALQ/USP in entirely randomized design with four repetitions, in 1.5 L pots containing clay-textured soil, the substrate was collected from the experimental field where initially soybean cultivation was

simulated with the use of the four herbicides selected for the study, 60 days after the soybean harvest the soil was collected and the cover crops were sown: millet (*Pennisetum glaucum ssp. glaucum* L.), brachiaria (*Brachiaria ruziziensis*), black oat (*Avena strigosa*) and white lupin (*Lupinus albus*). During the experiments, phytotoxicity, plant height and chlorophyll content were evaluated at 7, 14 and 21 days after emergence (DAE) and dry mass was determined at 21 DAE. In experiments with brachiaria and black oat it was observed that both species showed higher sensitivity to the herbicides diclosulam, sulfentrazone and imazethapyr, only in the treatment with fomesafen the species were statistically similar to the control. In the millet crop, even with the sowing 180 days after the application of pre-emergent herbicides, a high sensitivity to the four herbicides was observed, significantly compromising the development and production of plant mass. The white lupin species showed no sensitivity to any of the herbicides applied, performing similarly to the control in all treatments. It is concluded that the herbicides diclosulam, sulfentrazone and imazethapyr show potential carryover on brachiaria and black oat crops in succession to soybean. All four herbicides showed carryover potential for the millet species sown 180 days after the application of pre-emergent herbicides. For the white lupin crop, no carryover effect of the herbicides used in this work was observed.

Keywords: crop succession, cover species, carryover, persistence in soil

4.1. Introdução

Os sistemas de produção atualmente utilizados no Brasil devido as condições tropicais permitem aos produtores realizarem mais de um cultivo durante a safra agrícola, como o cultivo da soja com sucessão outras culturas produtivas como o milho, ou também com espécies que irão cobrir o solo durante o restante do ano agrícola. Segundo dados da Conab (2021) estima-se para a safra 2021/22 uma produção de 288,6 milhões de toneladas de grãos, evidenciando o potencial agrícola que o Brasil possui. Contudo o uso intensivo pode levar um desgaste e perda da qualidade física e química do solo, sendo mais intenso em sistemas de cultivo com menor diversificação, os quais exibem relativa fragilidade em relação a pragas, doenças, plantas daninhas, nematoides e conservação da superfície do solo, o que pode resultar em erosão e diminuição da matéria orgânica (HUNT *et al.*, 2019). Como alternativa a manutenção de uma massa vegetal sobre o solo através de plantas de cobertura, seja ela viva ou morta, durante o período em que não se encontra a cultura principal no campo trazer consigo diversos benefícios além da própria proteção do solo.

As plantas de cobertura promovem os seguintes benefícios: redução da erosão, constrói matéria orgânica, entrega nutrientes chave, conserva e recicla nutrientes, suprime plantas daninhas, reduz compactação, incrementa a agregação do solo, infiltração e promove a capacidade de armazenar água e aeração do solo (SCHONBECK; MORSE, 2008), fornecerem alimento constante aos fungos micorrízicos promovendo seu aumento, controlam fitoparasitas e contribuem para a diminuição de fontes de inóculo de pragas e doenças (GAZOLA *et al.*, 2017), bem como podem atuar no sequestro de metais pesados tóxicos e na degradação de compostos xenobióticos como pesticidas (SINGHAL *et al.*, 2020).

No entanto, para viabilizar um segundo cultivo no ano agrícola, os produtores buscam utilizar cada vez mais cultivares de soja de ciclo precoce e super precoce, que aliada as técnicas de antecipação de colheita reduzem o intervalo de tempo entre a aplicação de herbicidas na cultura da soja e a semeadura de espécies em cultivo subsequente (DAN *et al.* 2012). Podendo apresentar um risco a essas espécies de cobertura, uma vez que o encurtamento do período entre aplicações de herbicidas e semeadura de segunda safra amplia o risco de causar injúrias aos cultivos subsequentes por ação dos resíduos de herbicidas bioativos no solo, fenômeno esse denominado de "carryover", cada vez mais

frequente em cultivos de sucessão. O potencial do carryover oscila em função do herbicida utilizado, a dose, da cultura em sucessão e das condições ambientais após a aplicação (MANCUSO *et al.* 2011).

Apesar de ser um problema cada vez mais comum na agricultura brasileira, informações consistentes sobre o carryover dos herbicidas aplicados em cultivos de sucessão são escassas. Como alternativa durante a definição de culturas sucessoras, recomenda-se respeitar o intervalo determinado na bula dos produtos ou optar por aquelas com menor ou sem sensibilidade aos herbicidas empregados na primeira safra. Diante da escassez de informações sobre as implicações do uso herbicidas em sucessão de culturas, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos fitotóxicos em decorrência do carryover dos herbicidas: diclosulam, imazethapir, sulfentrazone e fomesafen quando empregados no cultivo de soja, através do impacto em espécies de cobertura semeadas em sucessão.

4.2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido na cidade de Piracicaba-SP, em área experimental da ESALQ/USP, durante o período de novembro de 2020 a julho de 2021, nas coordenadas (22°42'13.4"S, 47°38'02.1"W), a 540m de altitude. Os ensaios foram realizados em uma casa de vegetação, onde as parcelas experimentais foram compostas por vasos de plástico com capacidade para 1,5 L, que foram preenchidos com solo de textura argilosa coletado em área onde foi previamente cultivada com soja e aplicados os herbicidas selecionados para o estudo, amostras de 0-20cm e 20-40cm de profundidade deste solo foram coletadas e submetidas à análise para determinar as características químicas e granulométricas. O resultado da análise química apresentou as seguintes características para a amostra 0-20cm: pH: 4,7, M.O: 18 g.dm^{-3}, P: 30 mg.dm^{-3}, K: 4,7 mmolc.dm^{-3}, Ca: 15 mmolc.dm^{-3}, Mg: 7 mmolc.dm^{-3}, SB: 26,7 mmolc.dm^{-3}, CTC: 64,7 mmolc.dm^{-3}, V(%): 41, já na análise granulométrica foram Areia fina: 268 g.kg^{-1}, Areia grossa: 79 g.kg^{-1}, Areia total: 347 g.kg^{-1}, Argila: 495 g.kg^{-1} e Silte: 159 g.kg^{-1}. Na amostra 20-40cm foram: pH: 5, M.O: 12 g.dm^{-3}, P: 12 mg.dm^{-3}, K: 3,6 mmolc.dm^{-3}, Ca: 16 mmolc.dm^{-3}, Mg: 7 mmolc.dm^{-3}, SB: 26,6 mmolc.dm^{-3}, CTC: 54,6 mmolc.dm^{-3}, V(%): 49, já na análise granulométrica foram Areia fina: 227 g.kg^{-1}, Areia grossa: 65 g.kg^{-1}, Areia total: 292 g.kg^{-1}, Argila: 544 g.kg^{-1} e Silte: 131 g.kg^{-1}.

O experimento foi conduzido conforme o esquema apresentado na figura 9.

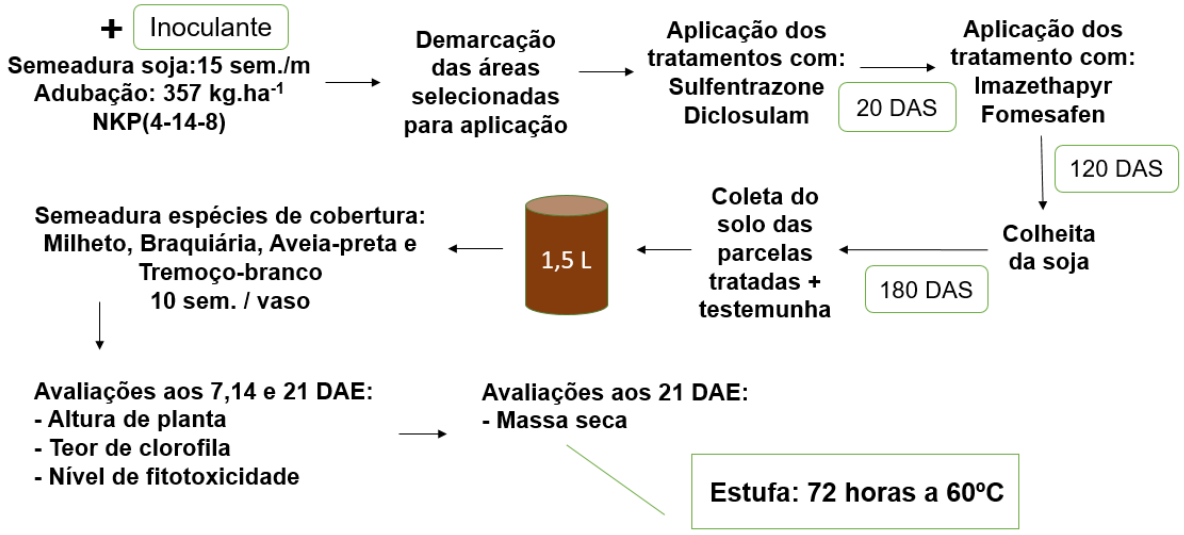

Figura 9. Esquema simplificado da condução do experimento com herbicidas residuais sobre espécies de cobertura.

Durante os meses de novembro de 2020 a março de 2021 foi cultivado soja da variedade CZ 15B70 IPRO nas parcelas selecionadas para o experimento. Cada parcela foi composta por quatro linhas de soja de 5m de comprimento e espaçadas a 0,5 m, semeados 15 sementes por metro. As sementes de soja foram inoculadas com dois produtos, RizoKop (*Bradyrhizobium japonicum*) e Azokop (*Azospirillum brasiliense*), assim como foi realizado uma adubação de plantio com 357 kg.ha^{-1} de NPK 4-14-8. No cultivo da soja foram aplicados os herbicidas diclosulam (35 g.ha^{-1}); sulfentrazone (600 g.ha^{-1}); imazethapyr (100 g.ha^{-1}); fomesafen (250 g.ha^{-1}), sendo os herbicidas diclosulam e sulfentrazone aplicados logo após a semeadura e os herbicidas imazethapyr e fomesafen 20 dias depois. Para a aplicação dos herbicidas utilizou-se de um pulverizador costal pressurizado com CO2, acoplado a barra com quatro pontas de pulverização tipo leque, modelo TTI 110.02, espaçados em 0,5 m com jato plano e indução a ar, que será calibrado para um volume de calda correspondente a 250 L.ha^{-1}. Durante a condução da soja não houve necessidade de aplicações de fungicidas e inseticidas, bem como o controle de plantas daninhas foi realizado por capinas manuais. Durante a condução da soja a média de temperatura diária oscilou entre 19,6°C e 28,5°C, e a precipitação pluviométrica acumulada durante o cultivo foi de 646,2 mm.

Após 120 dias de cultivo realizou-se a colheita da soja. Em maio de 2021 foi realizado a coleta do solo das parcelas aplicadas com os herbicidas para preenchimentos dos vasos. Em seguida foi semeado as espécies de cobertura, colocando 10 sementes por vaso, que após a emergência foram deixadas apenas 5 plântulas. Foram semeadas as culturas do milheto (*Pennisetum glaucum* ssp. glaucum L.), braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), aveia-preta (*Avena strigosa*) e tremoço-branco (*Lupinus albus*). Os ensaios foram arranjados em um delineamento inteiramente casualizado, onde cada espécie foi semeada em vasos contendo um dos quatro herbicidas selecionados, bem como uma testemunha sem aplicação, compondo os cinco tratamentos por espécie de cobertura, com quatro repetições, totalizando 20 parcelas por ensaio. Durante a condução dos quatro ensaios não houve necessidade de aplicações de fungicidas e inseticidas, bem como o controle de plantas daninhas foi realizado por capinas manuais. Durante a condução das espécies de cobertura a média de temperatura diária oscilou entre 10°C e 24,2°C, e a necessidade hídrica das culturas foram atendidas com irrigações diárias de 4,5 mm.

Aos 7, 14, 21 dias após a emergência (DAE) foram realizadas as avaliações de altura de planta, sendo mensurado a distância em centímetros da base rente ao solo até o ápice da planta, teor de clorofila, que foi mensurado com auxílio do aparelho SPAD, e nível de fitotoxicidade, mensurado através da escala da EWRC, que varia de 1 a 9, onde 1 significa fitotoxicidade nula e 9 a destruição completa da planta (CAMARGO, 1972). Aos 21 DAE realizou-se a coleta das parcelas, onde as plantas foram cortadas rente ao solo e armazenadas em sacos de papel. Após a coleta as plantas foram levadas a estufa a 60 °C durante 72 horas, em seguida foi obtido a massa seca em gramas/parcela.

Para a avaliação dos resultados realizou-se a tabulação dos dados obtidos de cada um dos quatro ensaios. Para análise dos tratamentos os dados foram distribuídos no delineamento inteiramente casualizado no nível de 5% de probabilidade submetendo-os à análise de variância (Anova), e havendo diferença estatística significativa entre as médias dos tratamentos através do teste F, realizou-se a comparação das mesmas pelo teste de Tukey a 5%. Os cálculos estatísticos foram efetuados com auxílio do programa R (R CORE TEAM, 2019).

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1. Sucessão com braquiária

No experimento com o cultivo de braquiária a avaliação de fitotoxicidade demonstrou diferença significativa em todas as avaliações. Os tratamentos com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone e imazethapir apresentaram maiores médias de fitotoxicidade diferindo estatisticamente da testemunha sem aplicação (Tabela 15).

Tabela 15. Fitotoxicidade da braquiária em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida) 7, 14 e 21 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Fitotoxicidade na escala EWRC			
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**		
	7	14	21
Diclosulam	3,7 **b**	4 **b**	4 **b**
Sulfentrazone	5 **a**	5 **a**	5,5 **a**
Imazethapir	2 **c**	2 **c**	2,7 **c**
Fomesafen	1,7 **c**	1,7 **cd**	1,7 **cd**
Testemunha	1 **c**	1 **d**	1 **d**
CV(%)	16,9	14,0	16,3

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Na avaliação aos 7 DAE observou-se um elevado efeito fitotóxico na braquiária semeada em solo tratado com diclosulam e sulfentrazone. Nas avaliações seguintes observa-se uma evolução nos sintomas, e aos 21 DAE concluiu-se que o herbicida sulfentrazone promoveu os maiores efeitos de toxidez na braquiária, seguido pelo diclosulam e imazethapir. Quando comparado a testemunha o tratamento com o herbicida fomesafen não promoveu efeitos de fitotoxidez significativos na braquiária. Nos tratamentos com sulfentrazone e diclosulam notou-se uma redução da emergência e plantas de porte reduzido quando comparados a testemunha, já no tratamento com imazethapir esses efeitos são leves e mais visíveis apenas na última avaliação como pode ser visualizado na Figura 8. Assim como observado no presente ensaio, Ceccon *et al.* (2010) desenvolveram um trabalho avaliando o uso de herbicidas no consórcio de milho com *Brachiaria ruziziensis* e observaram que o herbicida nicosulfuron, um inibidor da ALS, provocou redução no crescimento da espécie, promovendo a baixa produção de massa da forrageira.

Apesar dos herbicidas pré-emergentes diclosulam e sulfentrazone apresentarem elevado residual no solo, os maiores níveis de toxidez no tratamento com sulfentrazone podem estar relacionados a característica da maior sorção e menor dessorção deste herbicida em solos argilosos (REDDY e LOCKE, 1998), assim como em solos agricultáveis o diclosulam é considerado um produto de alta solubilidade (DEUBER, 1992), o que pode ter provocado uma maior lixiviação do herbicida diclosulam em relação ao sulfentrazone.

Figura 10. Vasos com a cultura da braquiária semeada em solo tratado com os herbicidas sulfentrazone (E), diclosulam (D), imazethapir (C), fomesafen (B) e testemunha (A) aos 7 DAE.

Na avaliação de altura de planta, assim como foi observado em fitotoxicidade, houve diferença significativa em todas as avaliações. Os tratamentos com os herbicidas diclosulam e sulfentrazone apresentaram menores médias de altura, diferindo estatisticamente da testemunha sem aplicação (Tabela 16).

Tabela 16. Altura de planta da braquiária em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida) 7, 14 e 21 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Altura de planta (cm)			
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**		
	7	**14**	**21**
Diclosulam	3,0 **b**	4,2 **c**	6,7 **bc**
Sulfentrazone	2,0 **b**	4,0 **c**	5,5 **c**
Imazethapir	2,5 **b**	5,7 **ab**	7,2 **abc**
Fomesafen	3,7 **b**	6,5 **ab**	10 **ab**
Testemunha	5,7 **a**	8,5 **a**	10,2 **a**
CV(%)	24,6	16,3	19,2

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Na avaliação aos 7 DAE observou-se um menor crescimento para todos os herbicidas. Contudo, nas avaliações seguintes observa-se uma menor média de altura apenas nos tratamentos com diclosulam e sulfentrazone, que aos 21 DAE apresentaram reduções de crescimento de 34% e 46% respectivamente. Os herbicidas imazethapir e fomesafen, apesar de um menor crescimento inicial, esses sintomas foram suprimidos com o decorrer do experimento, logo, não promoveram efeitos de redução no crescimento significativos na braquiária quando comparados a testemunha. A ausência de efeitos dos herbicidas imazethapyr e fomesafen podem estar ligadas a maior solubilidade desses herbicidas quando em condições de campo, uma vez que produtos com alta solubilidade em água são facilmente

e/ou rapidamente distribuídos no ciclo hidrológico, normalmente também apresentam os menores coeficientes de adsorção (com algumas exceções, como o glyphosate) e são rapidamente biodegradáveis (SILVA *et al.*, 2014)

A característica teor de clorofila não apresentou diferença significativa em todas as avaliações realizadas (Tabela 17). Apesar dos visíveis sinais de toxicidade e redução no crescimento nos tratamentos com diclosulam e sulfentrazone, essas características não influenciaram o teor de clorofila da braquiária.

Tabela 17. Teor de clorofila da braquiária em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida) 7, 14 e 21 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Teor de clorofila na escala SPAD			
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**		
	7	**14**	**21**
Diclosulam	19,0	16,3	19,2
Sulfentrazone	21,8	19,7	22,4
Imazethapir	24,6	17,4	19,2
Fomesafen	22,0	20,9	22,2
Testemunha	23,9	19,6	23,0
CV(%)	17,9	17,5	14,4

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

4.3.2. Sucessão com milheto

No experimento realizado com o cultivo de milheto durante o inverno a característica fitotoxicidade demonstrou diferença significativa nas três avaliações. Todos tratamentos apresentaram elevadas médias de fitotoxicidade, diferindo estatisticamente da testemunha sem aplicação (Tabela 18).

Tabela 18. Fitotoxicidade do milheto em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida) 7, 14 e 21 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Fitotoxicidade na escala EWRC			
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**		
	7	14	21
Diclosulam	3 **b**	3,7 **ab**	4,7 **a**
Sulfentrazone	4,5 **a**	4,7 **a**	5 **a**
Imazethapir	3 **b**	3 **b**	3 **b**
Fomesafen	3,7 **ab**	3,2 **b**	4 **ab**
Testemunha	1 **c**	1 **c**	1 **c**
CV(%)	11,9	17,6	14,9

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Na avaliação aos 7 DAE observou-se um elevado efeito fitotóxico no milheto semeado em solo de todos os tratamentos herbicidas. Nas avaliações seguintes os resultados se assemelham, apenas com uma evolução nos sintomas. Aos 21 DAE concluiu-se que os herbicidas diclosulam e sulfentrazone promoveram os maiores efeitos de toxidez no milheto, seguido pelo fomesafen e imazethapir. Nos tratamentos com diclosulam e sulfentrazone notou-se plantas de porte muito inferiores aos observados nos demais tratamentos e testemunha (Figura 9). Os menores valores de fitotoxicidade no tratamento com imazethapyr pode estar relacionado ao fato de que, diferente dos demais tratamentos, este herbicida apresenta alta solubilidade em água (PPDB, 2022), levando a uma maior concentração da molécula na fase líquida do solo, logo, aumentando as chances de lixiviação deste herbicida no perfil do solo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Dan *et al.* (2011a), no qual os autores avaliaram os efeitos de herbicidas pré-emergentes da soja sobre o milheto em sucessão, e concluíram que o herbicida sulfentrazone influenciou negativamente o rendimento de grãos da cultura semeada 120 DAA (dias após a aplicação), contudo neste mesmo trabalho o herbicida diclosulam não provocou efeitos negativos sobre a cultura, diferindo dos resultados observados no presente trabalho. Já Dan *et al.* (2011b) avaliando os efeitos de herbicidas pós-emergentes sobre o milheto em sucessão, concluíram que o herbicida imazethapir provocou efeitos de intoxicação significativos a cultura semeada 120 DAA, contudo esse mesmo efeito não foi observado para o fomesafen.

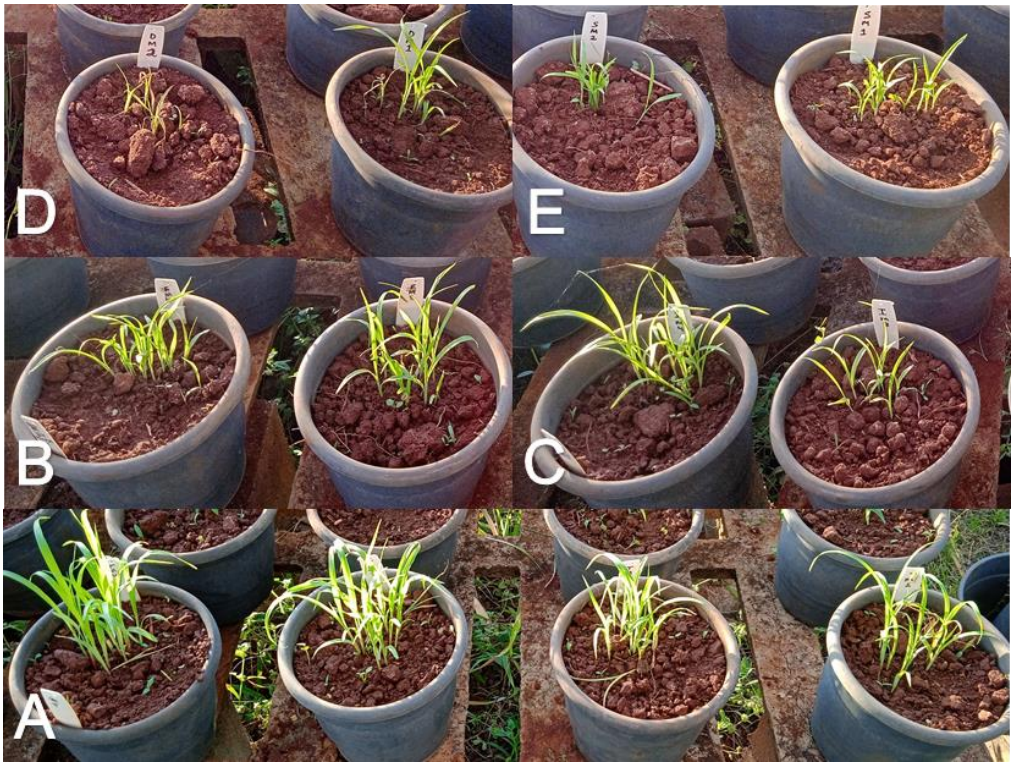

Figura 11. Vasos com a cultura do milheto semeado em solo tratado com os herbicidas sulfentrazone (E), diclosulam (D), imazethapir (C), fomesafen (B) e testemunha (A) aos 7 DAE.

Na avaliação de altura de planta, os herbicidas apresentaram um comportamento similar ao concluído em fitotoxicidade. Nas três avaliações realizadas observou-se diferença significativa entre os tratamentos e a testemunha, onde todos os herbicidas provocaram efeitos negativos sobre a cultura do milheto (Tabela 19).

Tabela 19. Altura de planta do milheto em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida) 7, 14 e 21 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Altura de planta (cm)			
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**		
	7	**14**	**21**
Diclosulam	4,7 **b**	5,0 **c**	5,7 **c**
Sulfentrazone	3,5 **b**	5,7 **bc**	5,7 **c**
Imazethapir	4,7 **b**	7,7 **ab**	8,7 **ab**
Fomesafen	4,2 **b**	8,2 **a**	8,0 **bc**
Testemunha	8,0 **a**	9,7 **a**	10,7 **a**
CV(%)	24,6	13,7	14,4

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Na avaliação final aos 21 DAE os tratamentos com diclosulam e sulfentrazone proporcionaram as menores médias de altura de planta, com reduções no crescimento de 46% em ambos os tratamentos. O tratamento com fomesafen apesar de apresentarem uma certa redução no crescimento, foi estatisticamente superior aos tratamentos diclosulam e sulfentrazone. Apenas o tratamento com o herbicida imazethapir apresentou média de altura semelhante a testemunha.

A característica teor de clorofila não apresentou diferença significativa em todas as avaliações realizadas (Tabela 20). Apesar dos visíveis sinais de toxicidade e redução no crescimento nos tratamentos com diclosulam e sulfentrazone, essas características não influenciaram o teor de clorofila do milheto.

Tabela 20. Teor de clorofila do milheto em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida) 7, 14 e 21 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Teor de clorofila na escala SPAD			
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**		
	7	**14**	**21**
Diclosulam	17,4	16,7	15,7
Sulfentrazone	22,9	17,1	16,1
Imazethapir	18,7	16,0	18,2
Fomesafen	23,0	18,4	16,4
Testemunha	22,0	20,9	18,2
CV(%)	18,0	14,3	18,1

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

4.3.3. Sucessão com aveia-preta

No experimento realizado com o cultivo de aveia-preta durante o inverno em todas as avaliações de fitotoxicidade observaram-se diferença significativa. Os tratamentos diclosulam, sulfentrazone e imazethapir apresentaram elevadas médias de fitotoxicidade, diferindo estatisticamente da testemunha sem aplicação (Tabela 21).

Tabela 21. Fitotoxicidade da aveia-preta em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida) 7, 14 e 21 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Fitotoxicidade na escala EWRC			
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**		
	7	14	21
Diclosulam	2,2 **b**	2,2 **b**	2,2 **b**
Sulfentrazone	3,7 **a**	4,2 **a**	5 **a**
Imazethapir	2 **bc**	2 **bc**	2 **b**
Fomesafen	1,2 **bc**	1,2 **bc**	1,2 **c**
Testemunha	1 **c**	1 **c**	1 **c**
CV(%)	23,9	22,8	14,3

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Aos 7 DAE observou-se um elevado efeito fitotóxico na aveia-preta semeada em solo tratado com os herbicidas diclosulam e sulfentrazone. Nas avaliações seguintes os níveis de fitoxidez foram mantidos, apenas no tratamento com sulfentrazone presenciou-se uma evolução nos sintomas. Aos 21 DAE concluiu-se que o herbicida sulfentrazone promoveu os maiores efeitos de toxidez na aveia-preta, seguido pelo diclosulam e imazethapir. No tratamento com fomesafen não foi observado efeitos fitotóxicos significativos quando comparado a testemunha. Nos tratamentos com diclosulam e sulfentrazone notou-se plantas de porte bem inferiores aos observados nos demais

tratamentos e testemunha (Figura 9). Os maiores níveis de fitotoxicidade observados no tratamento com sulfentrazone pode estar relacionado a característica da maior sorção e menor dessorção deste herbicida em solos argilosos (REDDY e LOCKE, 1998), provocando então uma maior persistência deste herbicida no solo.

Esses resultados se assemelham aos observados por Pereira *et al.* (2000) avaliando o efeito dos herbicidas diclosulam (35 e 70 $g.ha^{-1}$) e sulfentrazone (500 e 1000 $g.ha^{-1)}$ aplicados no cultivo de soja sobre culturas de sucessão em dois solos diferentes concluíram que ambos os herbicidas, nas doses mais altas aplicados no solo arenoso proporcionaram evidentes sinais de fitotoxicidade a cultura da aveia. A falta de sinais visíveis de fitotoxicidade, como manchas cloróticas e necrose, no presente trabalho, apenas apresentando uma menor emergência e redução no porte da planta podem ser um reflexo do uso de menores doses e maior espaço de tempo entre aplicação e semeadura da cultura da aveia-preta.

Figura 12. Vasos com a cultura da aveia-preta semeada em solo tratado com os herbicidas sulfentrazone (E), diclosulam (D), imazethapir (C), fomesafen (B) e testemunha (A) aos 7 DAE.

Para a característica altura de planta, os tratamentos apresentaram um comportamento similar ao concluído em fitotoxicidade. Nas três avaliações realizadas observou-se diferença significativa entre os tratamentos e a testemunha (Tabela 22).

Tabela 22. Altura de planta da aveia-preta em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida) 7, 14 e 21 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Altura de planta (cm)			
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**		
	7	**14**	**21**
Diclosulam	9,5 **b**	13,5 **b**	17,2 **ab**
Sulfentrazone	6,5 **b**	9,2 **b**	14,7 **b**
Imazethapir	9,2 **b**	13,5 **b**	17,0 **ab**
Fomesafen	15,5 **a**	21,0 **a**	20,2 **a**
Testemunha	14,5 **a**	20,0 **a**	20,7 **a**
CV(%)	13,7	18,1	10,5

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Nos tratamentos com diclosulam e imazethapir apesar de uma redução inicial no crescimento, com o decorrer do ensaio esses sintomas foram superados, não sendo significativos aos 21 DAE. Ao fim do ensaio apenas o herbicida sulfentrazone proporcionou reduções significativas a cultura da aveia-preta, provocando uma redução média de 29% em comparação a testemunha. O tratamento com fomesafen apresentou comportamento semelhante a testemunha em todas as avaliações realizadas.

Na avaliação do teor de clorofila não foi observado diferença significativa em todas as avaliações realizadas (Tabela 23). Apesar dos sinais de toxicidade e redução no crescimento no tratamento com sulfentrazone, não houve influência sobre o teor de clorofila da aveia-preta.

Tabela 23. Teor de clorofila da aveia-preta em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida) 7, 14 e 21 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Teor de clorofila na escala SPAD			
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**		
	7	**14**	**21**
Diclosulam	34,4	27,8	29,3
Sulfentrazone	40,0	28,6	28,0
Imazethapir	33,6	29,5	28,9
Fomesafen	33,7	29,6	32,0
Testemunha	33,0	28,4	31,7
CV(%)	11,9	8,6	14,5

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

4.3.4. Sucessão com tremoço-branco

No experimento realizado com a cultura do tremoço-branco a avaliação de fitotoxicidade demonstrou diferença significativa apenas na primeira avaliação. (Tabela 24).

Tabela 24. Fitotoxicidade do tremoço-branco em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida) 7, 14 e 21 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Fitotoxicidade na escala EWRC			
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**		
	7	14	21
Diclosulam	1,5 **ab**	1,5	1,5
Sulfentrazone	2 **a**	1,7	1,5
Imazethapir	1,5 **ab**	1,5	1,5
Fomesafen	2 **a**	1,2	1
Testemunha	1 **b**	1	1
CV(%)	22,8	36,3	37,1

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Aos 7 DAE apenas os herbicidas sulfentrazone e fomesafen apresentaram os maiores níveis de fitotoxidez ao tremoço-branco, no entanto nas avaliações seguintes observou-se uma redução nos sintomas de fitotoxicidade nesses tratamentos. Ao fim do ensaio todos os tratamentos herbicidas demonstraram baixos níveis de fitotoxicidade, assemelhando-se a testemunha. Resultado similar foi observado por Alves (2017) em trabalho buscando selecionar espécies para fitorremediação do solo tratado com diferentes doses de sulfentrazone e fomesafen, o autor concluiu que a espécie tremoço-branco apresentou maior tolerância aos dois herbicidas mesmo nas maiores doses.

Na avaliação da altura de planta, os tratamentos apresentaram um comportamento similar ao concluído em fitotoxicidade. Nas avaliações realizadas, apenas aos 14 DAE observou-se uma diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 25).

Tabela 25. Altura de planta do tremoço-branco em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida) 7, 14 e 21 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Altura de planta (cm)			
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**		
	7	**14**	**21**
Diclosulam	5,0	5,5 **ab**	5,7
Sulfentrazone	4,2	5,0 **b**	6,7
Imazethapir	5,5	5,7 **ab**	6,2
Fomesafen	5,2	6,2 **ab**	6,2
Testemunha	5,7	7,0 **a**	7,0
CV(%)	16,8	14,1	12,1

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Apenas aos 14 DAE o tratamento com sulfentrazone apresentou uma menor média de altura, destacado pela diferença significativa com a testemunha. Contudo aos 21 DAE determinou-se que todos os herbicidas apresentaram média similar a testemunha, levando a concluir que não houve influência dos tratamentos sobre o crescimento da espécie tremoço-branco. O resultado observado aos 14 DAE possivelmente foi influenciado por um atraso natural na emergência que a cultura apresentou durante o ensaio, uma vez que na avaliação seguinte essa diferença foi totalmente superada.

A característica teor de clorofila apresentou diferença significativa apenas nas duas primeiras avaliações, ao fim do experimento não foi observado diferença entre os tratamentos herbicidas e a testemunha (Tabela 26).

Tabela 26. Teor de clorofila do tremoço-branco em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida) 7, 14 e 21 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Teor de clorofila na escala SPAD			
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**		
	7	**14**	**21**
Diclosulam	55,6 **a**	64,8 **a**	53,2
Sulfentrazone	46,5 **b**	56,5 **b**	52,6
Imazethapir	50,8 **ab**	51,2 **b**	50,0
Fomesafen	46,4 **b**	56,4 **b**	56,5
Testemunha	47,0 **b**	52,6 **b**	51,9
CV(%)	4,5	6,4	7,6

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

O tratamento com diclosulam apresentou maior teor de clorofila nas duas primeiras avaliações, superando a testemunha, já na avaliação realizada aos 21 DAE esse comportamento não foi mais observado. Apesar da diferença observada nas duas primeiras avaliações, esse resultado não apresenta correlação com as demais características avaliadas no experimento. O que leva a concluir que essa diferença no teor de clorofila observada não foi promovida pelos tratamentos herbicidas.

4.3.5. Avaliação massa seca

Na avaliação de massa seca as espécies braquiária, milheto e aveia-preta apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, apenas para o experimento com o cultivo de tremoço-branco não foi observada diferença significativa para esta característica (Tabela 30).

Tabela 30. Massa seca das espécies de cobertura em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapir e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida) 21 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

Massa seca (g)				
Herbicidas	**Dias após a emergência (DAE)**			
	Braquiária	**Milheto**	**Aveia-preta**	**Tremoço-branco**
Diclosulam	0,22 **cd**	0,21 **b**	0,68 **b**	1,85
Sulfentrazone	0,10 **d**	0,24 **b**	0,51 **b**	2,32
Imazethapir	0,38 **bc**	0,42 **b**	0,72 **b**	1,79
Fomesafen	0,56 **ab**	0,43 **b**	1,12 **a**	2,06
Testemunha	0,63 **a**	0,73 **a**	1,11 **a**	2,15
CV(%)	28,8	26,7	18,6	13,2

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Os herbicidas diclosulam e sulfentrazone demonstraram efeitos negativos severos ao desenvolvimento da braquiária e aveia-preta, assim como foi observado nas características nível de fitotoxicidade e altura de planta, o que levou a uma menor massa seca de ambas as espécies aos 21 DAE (Figura 10). O tratamento com imazethapir apresentou média de massa seca inferior a testemunha, contudo não se observou efeitos tão severos quando comparado aos herbicidas diclosulam e sulfentrazone em ambas as espécies de cobertura. A braquiária e aveia preta semeadas em solo tratado com fomesafen apresentaram uma produção de massa seca semelhante a testemunha. Os resultados do presente trabalho se assemelham aos encontrados por Alves (2017) onde o autor avaliou os efeitos de herbicidas aplicados na soja sobre a espécie aveia-preta, e concluiu que a aplicação de sulfentrazone (1,2 $kg.ha^{-1}$) provocou uma redução da massa seca em 55% quando comparado a testemunha, contudo esse mesmo resultado não repetiu na aplicação de fomesafen.

Ao fim dos ensaios, o que se observou foi uma maior sensibilidade dessas espécies aos herbicidas diclosulam, sulfentrazone e imazethapir mesmo aplicados 180 dias antes da semeadura, esse mesmo comportamento não foi demonstrado para o fomesafen.

Figura 13. Vasos com a espécie braquiária (A) e aveia-preta (B) semeados em solo tratado com os herbicidas diclosulam, imazethapir, sulfentrazone, fomesafen e testemunha aos 21 DAE.

Na avaliação de massa seca do milheto todos os tratamentos herbicidas foram estatisticamente inferiores a testemunha. Os quatro herbicidas apresentaram durante a condução do ensaio sintomas severos de fitotoxicidade e menores médias de altura, o que culminou em uma redução na massa seca da espécie de cobertura, chegando a 71% e 67% nos tratamentos com diclosulam e sulfentrazone, respectivamente. O que se observou foi que mesmo após 180 dias da aplicação dos herbicidas o milheto demonstrou elevada sensibilidade aos resíduos presentes no solo, comprometendo significativamente seu desenvolvimento e produção de massa vegetal (Figura 11). Uma hipótese para

explicar a elevada fitointoxicação dos quatro herbicidas está na menor precipitação ocorrida durante o cultivo da soja, de apenas 646,2 mm acumulados.

Os herbicidas pré-emergentes promoveram os efeitos negativos mais severos a cultura do milheto. Assim como foi observado por Blanco e Velini (2005) onde o herbicida sulfentrazone (1,2 $kg.ha^{-1}$) aplicado na soja comprometeu o rendimento da cultura do milheto semeado em sucessão. Entretanto em estudo realizado por Dan *et al.* (2011b) os autores observaram que o herbicida diclosulam (0,035 $kg.ha^{-1}$) aplicado na pré-emergência da soja não afetou o rendimento de grãos do milheto semeado 120 dias depois.

Em relação os herbicidas pós-emergentes, em pesquisa realizada por Dan *et al.* (2011a) determinaram que o herbicida imazethapir (0,1 $kg.ha^{-1}$) aplicado na soja promoveu efeitos negativos ao rendimento de grãos para a cultura do milheto semeado em sucessão, contudo o mesmo comportamento não foi observado para o fomesafen (0,250 $kg.ha^{-1}$), que necessitou de apenas de um intervalo de 100 dias entre a aplicação e semeadura para não afetar a cultura sucessora.

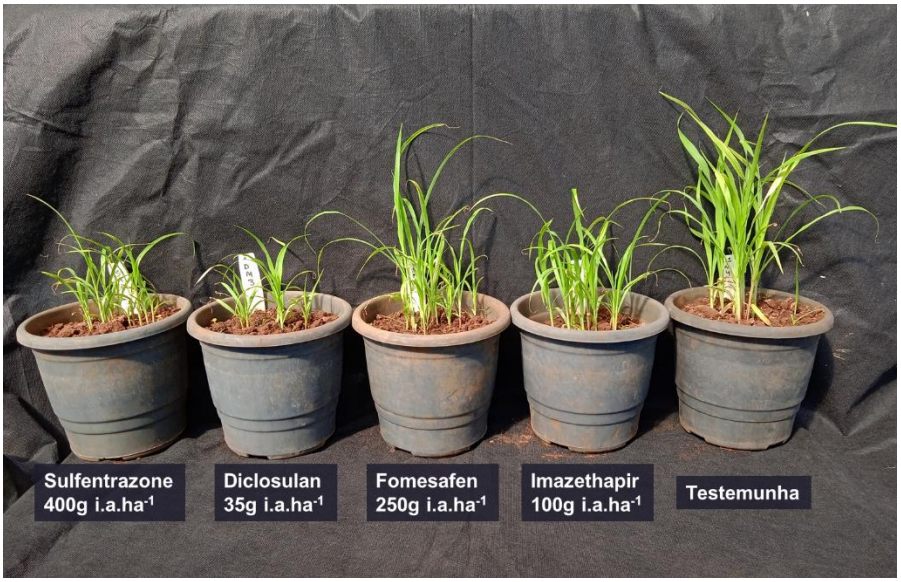

Figura 14. Vasos com a espécie aveia-preta semeada em solo tratado com os herbicidas diclosulam, imazethapir, sulfentrazone, fomesafen e testemunha aos 21 DAE.

Na avaliação de massa seca da espécie tremoço-branco não foi observado diferença significativa dos tratamentos herbicidas quando comparado com a testemunha. Assim como foi observado nas características nível de fitotoxicidade e altura de planta, os quatro herbicidas não influenciaram no desenvolvimento e produção de massa da cultura aos 21 DAE. O que se observou foi que a espécie tremoço-branco não apresentou sensibilidade aos herbicidas aplicados 180 dias antes da semeadura da cultura (Figura 12).

Figura 15. Vasos com a espécie tremoço-branco semeada em solo tratado com os herbicidas diclosulam, imazethapir, sulfentrazone, fomesafen e testemunha aos 21 DAE.

4.4. Conclusões

A espécie de cobertura braquiária apresentou elevada sensibilidade aos herbicidas diclosulam e sulfentrazone quando aplicados durante o cultivo de soja na primeira safra.

A cultura do milheto apresentou sensibilidade a todos os tratamentos herbicidas aplicados durante o cultivo da soja, em especial aos herbicidas diclosulam e sulfentrazone que provocaram os efeitos fitotóxicos mais severos a cultura.

A espécie de cobertura aveia-preta em sucessão a soja apresentou maior sensibilidade ao herbicida sulfentrazone, seguido pelos tratamentos com diclosulam e imazethapyr. Para esta espécie o tratamento com sulfentrazone provocou os sinais mais severos de toxidez.

A espécie tremoço-branco foi a única a não apresentar sensibilidade a todos os quatro herbicidas aplicados durante o cultivo da soja.

A avaliação de teor de clorofila não apresentou resultados significativos e com correlação com as demais características avaliadas.

Referências

ALVES, C. **Seleção de espécies com potencial para fitorremediação de solo contaminado com herbicidas inibidores da protox**. 2017. 103 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 2017.

BLANCO, F. M. G.; VELINI, E. D. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com soja e seu efeito em culturas sucedâneas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 693-700, 2005. DOI 10.1590/S0100-83582005000400018. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582005000400018. Acesso em: 17 nov. 2021.

CAMARGO, P. N. **Controle químico de plantas daninhas**. 4.ed. Piracicaba: ESALQ, 1972. 421p.

CECCON, G. *et al.* Uso de herbicidas no consórcio de milho safrinha com Brachiaria ruziziensis. **Planta Daninha**, Viçosa, n. 28, p. 359–364, 2010. DOI: 10.1590/s0100-83582010000200015. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582010000200015. Acesso em: 17 nov. 2021.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Primeiro levantamento**, outubro 2021 – safra 2021/2022. : Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2021. Disponível em: < https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 17 nov. 2021.

DAN, H. A. *et al.* Atividade residual de herbicidas aplicados em pós-emergência na cultura da soja sobre o milheto cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 437–445. 2011a. DOI: 10.1590/s0100-83582011000200022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582011000200022. Acesso em: 17 nov. 2021.

DAN, H. A. *et al.* Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milheto cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 663–671. 2011b. DOI: 10.1590/s0100-83582011000300021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582011000300021. Acesso em: 17 nov. 2021.

DAN, H. A. *et al.* Atividade residual de herbicidas usados na soja sobre o girassol cultivado em sucessão. **Ciência Rural**, v. 42, n. 11, p. 1929-1935, nov. 2012b. DOI: 10.1590/S0103-84782012005000081. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000081. Acesso em: 17 nov. 2021.

DEUBER, R. **Ciência das plantas daninhas: fundamentos**. Jaboticabal: FUNEP,1992. v. 1, 431p

GAZOLA, C. V. *et al.* Benefícios das plantas de cobertura e plantio direto em sistemas de agricultura orgânica regenerativa-uma visão geral. **Rev. Conexão Eletrônica**, Três Lagoas, v. 14, n. 1, p. 474-484, 2017.

HUNT N. D. *et al.* Cropping system diversity effects on nutriente discharge, soil erosion, and agronomic performance. **Environ Sci Technol.**, v.53, n.3, p. 1344-1352, jan. 2019. DOI: 10.1021/acs.est.8b02193. Disponível em: https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02193. Acesso em: 17 nov. 2021.

MANCUSO, M. A. C. *et al.* Efeito residual de herbicidas no solo ("Carryover"). **Rev. Bras. Herb.**, Londrina, v.10, n.2, p.151-164, ago. 2011. DOI 10.7824/rbh.v10i2.106. Disponível em: https://doi.org/10.7824/rbh.v10i2.106. Acesso em: 17 nov. 2021.

PEREIRA, F. A. R. *et al.* Seletividade de sulfentrazone em cultivares de soja e efeitos residuais sobre culturas sucessivas, em solos de cerrado. **Rev. Bras. Herb.**, v. 1, n. 3, p. 219-224, 2000. DOI: 10.7824/rbh.v1i3.338. Disponível em: http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v1i3.338. Acesso em: 17 nov. 2021.

PPDB – Pesticide Properties DataBase. **Agriculture & Environment Research Unit (AERU)**. Hertfordshire, University of Hertfordshire, 2022. Disponível em: https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm . Acesso em: 26 jan. 2022.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponível em: https://www.R-project.org. Acesso em: nov. 2021

REDDY, K. N.; LOCKE, M. A. Sulfentrazone sorption, desorption, and mineralization in soils from two tillage systems. **Weed Sci.**, v. 46, n. 4, p. 494-500, 1998. DOI: 10.1017/S0043174500090950. Disponível em: https://doi.org/10.1017/S0043174500090950. Acesso em: 17 nov. 2021.

SCHONBECK, M.; MORSE, R. Escolhendo as melhores culturas de cobertura para o seu Sistema orgânico de plantio direto. **Rodale Institute**, 2008. Disponível em: https://rodaleinstitute.org/pt/science/articles/choosing-the-best-cover-crops-for-your-organic-no-till-vegetable-system/. Acesso em: 17 nov. 2021.

SILVA, G. R. *et al*. Mobilidade do fomesafen em solos brasileiros. **Planta Daninha**, Viçosa, v.32, n. 3, p. 639-645, set. 2014. DOI: 10.1590/S0100-83582014000300020. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582014000300020. Acesso em: 17 nov. 2021.

SINGHAL, V. *et al*. Cover crop technology–a way towards conservation agriculture: A review. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 90, n. 12, p. 2275-2284, dez. 2020.

5. ESTUDO DA PRESENÇA DE HERBICIDAS NO SOLO ATRAVÉS DO USO DE BIOENSAIOS COM ESPÉCIES SENSÍVEIS

Resumo

Em virtude das condições tropicais presentes no Brasil, os produtores brasileiros podem realizar mais de um cultivo durante a safra agrícola, como exemplo o cultivo de soja com sucessão de uma cultura produtora de grãos ou espécies de cobertura. Contudo, o estreitamento do intervalo entre a aplicação de herbicidas residuais no cultivo da soja e a semeadura de uma segunda cultura pode ampliar as chances de ocorrer carryover de herbicidas. Nesse sentido a técnica de bioensaio apresenta-se como uma excelente alternativa para estudar a presença de resíduos de herbicidas no solo, que alia baixo custo com bom resultado prático. Diante desta problemática o presente trabalho teve como objetivo realizar bioensaios em dois solos, argiloso e médio arenoso, tratados com quatro herbicidas: diclosulam, imazethapyr, sulfentrazone e fomesafen que foram aplicados durante o cultivo de soja. Foram realizados quatro ensaios em casa de vegetação, um para cada herbicida estudado, onde as parcelas experimentais foram compostas por vasos de plástico com capacidade para 0,3 L, preenchidos com solos coletados de áreas em que foram previamente cultivadas com soja na primeira safra e aplicados os herbicidas selecionados para o estudo. Foram coletadas 4 amostras de solo em cada ensaio, duas amostras foram retiradas da área com solo de textura argilosa, sendo elas de 0-20cm e 20-40cm de profundidade, a terceira amostra foi coletada de vasos com solo de textura média arenosa e a testemunha sem aplicação de solo com textura argilosa. Em seguida foram semeadas as espécies bioindicadoras, colocando 3 sementes por vaso. Os ensaios foram dispostos em um delineamento inteiramente casualizado, onde cada espécie bioindicadora foi semeada em vasos contendo um dos quatro herbicidas selecionados, bem como uma testemunha sem aplicação, compondo os quatro tratamentos por espécie, com quatro repetições, totalizando 16 parcelas por ensaio. Aos 14 DAE realizou-se a coleta das parcelas, onde as plantas foram cortadas rente ao solo e armazenadas em sacos de papel. Após a coleta as plantas foram levadas a estufa a 60 °C durante 72 horas, em seguida foi obtido a massa seca em gramas/parcela. No bioensaio com diclosulam observou-se a presença dos resíduos dos herbicidas apenas no solo argiloso em profundidade de 20-40cm. Já nos biotestes com sulfentrazone e fomesafen a presença dos resíduos foram observadas em ambas as profundidades do solo argiloso, e assim como no ensaio com diclosulam, não foi observada a presença dos três herbicidas nas amostras de solo médio arenoso. Apesar disso, no bioensaio com o imazethapyr foi observado a presença de resíduos do herbicida em todas as três amostras de solo.

Palavras-chave: sucessão de culturas, resíduos de herbicidas, bioensaio

ABSTRACT

Study of the presence of herbicides in soil by using bioassays with sensitive species

Due to the tropical conditions present in Brazil, Brazilian farmers can perform more than one crop during the agricultural season, as an example the soybean crop with succession of a grain producing crop or cover crops. However, narrowing the interval between the application of residual herbicides in the soybean crop and the sowing of a second crop can increase the chances of herbicide carryover. In this sense, the bioassay technique presents as an excellent alternative for studying the presence of herbicide residues in the soil, combining low cost with good practical results. In view of this problem, the present work aimed to conduct bioassays in two soils, clay and medium sandy, treated with four herbicides: diclosulam, imazethapyr, sulfentrazone and fomesafen that were applied during soybean cultivation. Four experimental trials were conducted in the greenhouse, one for each herbicide studied, where the experimental plots were composed of plastic pots with a capacity of 0.3 L, filled with soil collected from areas that had been previously cultivated with soybeans in the first harvest and applied the herbicides selected for the study. Four soil samples were collected in each experiment, two samples

were taken from the area with clay-textured soil at a depth of 0-20cm and 20-40cm, the third sample was collected from pots with medium sandy-textured soil and the control from clay-textured soil. The bioindicator species were then sown in three seeds per pot. The experiments were arranged in an entirely randomized design, where each bioindicator species was sown in pots containing one of the four selected herbicides, as well as a witness without application, making up the four treatments per species, with four repetitions, totaling 16 plots in each experiment. At 14 DAE the plots were collected, where the plants were cut close to the ground and stored in paper bags. After collection, the plants were taken to an oven at 60°C for 72 hours, and then the dry mass was obtained in grams/plot. In the bioassay with diclosulam the presence of herbicide residues was observed only in the clay soil at a depth of 20-40cm. In the bioassays with sulfentrazone and fomesafen, residues were observed in both depths of clay soil, and as in the diclosulam assay, the presence of the three herbicides was not observed in the medium sandy soil samples. Nevertheless, in the bioassay with imazethapyr, the presence of residues of the herbicide was observed in all three soil samples.

Keywords: crop succession, herbicide residues, bioassay

5.1. Introdução

A agricultura brasileira vem a cada safra evidenciando o potencial produtivo que o país apresenta, segundo dados da Conab (2021) estima-se para a safra 2021/22 uma produção de 288,6 milhões de toneladas de grãos. Para se extrair o potencial máximo da área, em muitos casos realiza-se o cultivo de duas culturas em um mesmo ano agrícola, sendo necessário então a utilização de cultivares de soja de ciclo precoce e super precoce, que aliada as técnicas de antecipação de colheita reduzem o intervalo de tempo entre a aplicação de herbicidas na cultura da soja e a semeadura de espécies em cultivo subsequente (DAN, *et al.* 2012a).

Apesar das diversas vantagens, o encurtamento do período entre aplicações de herbicidas e semeadura de segunda safra ou plantio de inverno amplia o risco de causar injúrias por ação dos resíduos de herbicidas ainda ativos no solo, fenômeno esse denominado de "carryover". Segundo Oliveira (2001) carryover é a habilidade que um herbicida tem de manter a integridade de sua molécula e, consequentemente, suas características físico-químicas e funcionais no ambiente. O potencial do carryover oscila em função do herbicida utilizado, a dose, da cultura em sucessão e das condições ambientais após a aplicação (MANCUSO *et al.*, 2011).

Como alternativa durante a definição de culturas sucessoras, recomenda-se respeitar o intervalo determinado na bula dos produtos ou optar por aquelas com menor ou sem sensibilidade aos herbicidas empregados na primeira safra. No entanto diversos são os fatores que podem influenciar esse período de persistência dos resíduos no solo, levando a uma grande variação de acordo com as características do ambiente. Nesse sentido o bioensaio que alia baixo custo a bom resultado prático, é uma técnica de identificação de resíduos no solo que se baseia na utilização de organismos vivos, geralmente, espécies vegetais sensíveis ao composto estudado (MARCHESAN *et al.*, 2011), sendo identificado os resultados através da alteração das características agronômicas da planta teste (MELO *et al.*, 2010).

Para a realização de um bioteste necessita-se da seleção de uma espécie bioindicadora. Para ser caracterizada uma espécie bioindicadora é necessário que a espécie vegetal deve ter sensibilidade ao herbicida estudado, apresentando intoxicação e redução em características físicas ou fisiológicas (DUQUE *et al.*, 2020) e a sensibilidade deve aumentar em função do aumento de resíduos no solo (MENDES *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2018). Nas características mensuradas nos bioensaios, intoxicação e massa seca de parte aérea são as variáveis mais discriminadoras de resíduos de herbicidas (FREITAS *et al.*, 2014; MELO *et al.*, 2010).

Diante da diversidade de fatores que influenciam a persistência de herbicidas residuais no solo. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a presença de resíduos dos herbicidas: diclosulam, imazethapir, sulfentrazone e fomesafen no solo quando empregados no cultivo de soja, através dos efeitos provocados nas espécies bioindicadoras.

5.2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido na cidade de Piracicaba-SP, em área experimental da ESALQ/USP, durante o período de março a julho de 2021, nas coordenadas (22°42'13.4"S, 47°38'02.1"W), a 540m de altitude. Foram realizados quatro ensaios em casa de vegetação, um para cada herbicida estudado, onde as parcelas experimentais foram compostas por vasos de plástico com capacidade para 0,3 L, preenchidos com solos coletados de áreas em que foram previamente cultivadas com soja na primeira safra e aplicados os herbicidas selecionados para o estudo. Para este ensaio foram coletadas 4 amostras de solo de três áreas distintas, duas amostras foram retiradas de uma área com solo de textura argilosa, sendo elas de 0-20cm e 20-40cm, assim como foi realizado à análise para determinar as características químicas e granulométricas. O resultado da análise química apresentou as seguintes características para a amostra 0-20cm: pH: 4,7, M.O: 18 $g.dm^{-3}$, P: 30 $mg.dm^{-3}$, K: 4,7 $mmolc.dm^{-3}$, Ca: 15 $mmolc.dm^{-3}$, Mg: 7 $mmolc.dm^{-3}$, SB: 26,7 $mmolc.dm^{-3}$, CTC: 64,7 $mmolc.dm^{-3}$, V(%): 41, já na análise granulométrica foram Areia fina: 268 $g.kg^{-1}$, Areia grossa: 79 $g.kg^{-1}$, Areia total: 347 $g.kg^{-1}$, Argila: 495 $g.kg^{-1}$ e Silte: 159 $g.kg^{-1}$. Na amostra 20-40cm foram: pH: 5, M.O: 12 $g.dm^{-3}$, P: 12 $mg.dm^{-3}$, K: 3,6 $mmolc.dm^{-3}$, Ca: 16 $mmolc.dm^{-3}$, Mg: 7 $mmolc.dm^{-3}$, SB: 26,6 $mmolc.dm^{-3}$, CTC: 54,6 $mmolc.dm^{-3}$, V(%): 49, já na análise granulométrica foram Areia fina: 227 $g.kg^{-1}$, Areia grossa: 65 $g.kg^{-1}$, Areia total: 292 $g.kg^{-1}$, Argila: 544 $g.kg^{-1}$ e Silte: 131 $g.kg^{-1}$. A terceira amostra foi coletada de vasos com solo de textura média arenosa, na análise química apresentou as seguintes características: pH: 5,3, M.O: 19 $g.dm^{-3}$, P: 7 $mg.dm^{-3}$, K: 2 $mmolc.dm^{-3}$, Ca: 18 $mmolc.dm^{-3}$, Mg: 7 $mmolc.dm^{-3}$, SB: 24 $mmolc.dm^{-3}$, CTC: 45 $mmolc.dm^{-3}$, V(%): 60, já na análise granulométrica foram Areia fina: 596 $g.kg^{-1}$, Areia grossa: 166 $g.kg^{-1}$, Areia total: 761 $g.kg^{-1}$, Argila: 199 $g.kg^{-1}$ e Silte: 39 $g.kg^{-1}$. A quarta amostra, correspondente a testemunha sem aplicação, foi retirada de uma área com solo de textura argilosa na profundidade 0-20cm. O resultado da análise química apresentou as seguintes características: pH: 4,7, M.O: 18 $g.dm^{-3}$, P: 30 $mg.dm^{-3}$, K: 4,7 $mmolc.dm^{-3}$, Ca: 15 $mmolc.dm^{-3}$, Mg: 7 $mmolc.dm^{-3}$, SB: 26,7 $mmolc.dm^{-3}$, CTC: 64,7 $mmolc.dm^{-3}$, V(%): 41, já na análise granulométrica foram Areia fina: 268 $g.kg^{-1}$, Areia grossa: 79 $g.kg^{-1}$, Areia total: 347 $g.kg^{-1}$, Argila: 495 $g.kg^{-1}$ e Silte: 159 $g.kg^{-1}$.

O experimento foi conduzido conforme o esquema apresentado na figura 16.

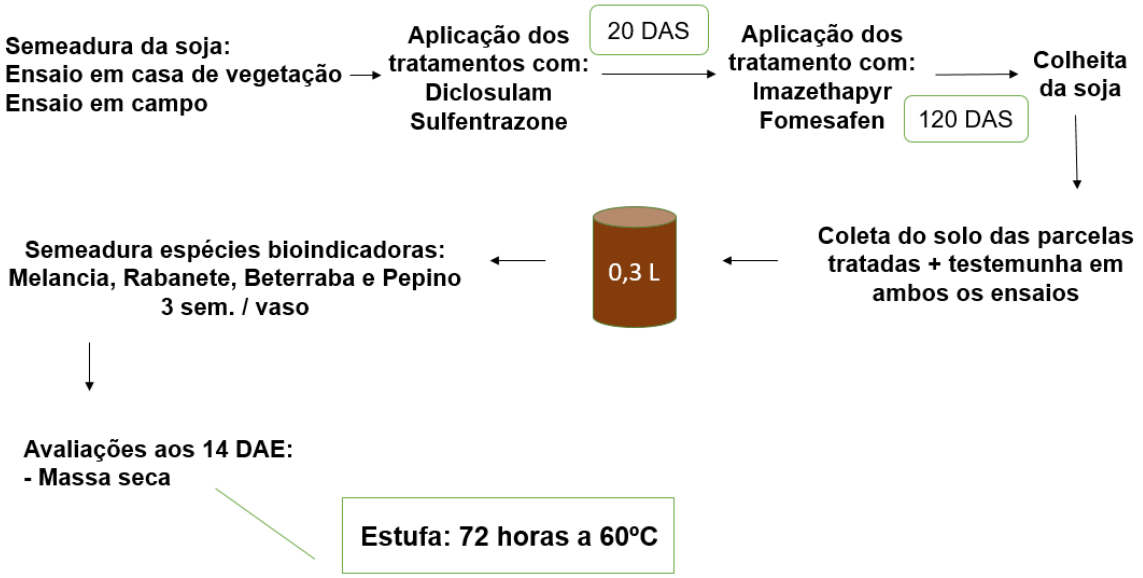

Figura 16. Esquema simplificado da condução do experimento com espécies bioindicadoras.

No cultivo da soja foram aplicados os herbicidas diclosulam (35 g.ha^{-1}); sulfentrazone (600 g.ha^{-1}); imazethapyr (100 g.ha^{-1}); fomesafen (250 g.ha^{-1}), sendo os herbicidas diclosulam e sulfentrazone aplicados logo após a semeadura e os herbicidas imazethapyr e fomesafen 20 dias depois. Para a aplicação dos herbicidas utilizou-se de um pulverizador costal pressurizado com CO2, acoplado a barra com quatro pontas de pulverização tipo leque, modelo TTI 110.02, espaçados em 0,5 m com jato plano e indução a ar, que será calibrado para um volume de calda correspondente a 250 L.ha^{-1}.

Após 120 dias realizou-se a colheita da soja. Logo após foi realizado a coleta do solo e preenchimentos dos vasos. Em seguida foram semeadas as espécies bioindicadoras, colocando 3 sementes por vaso. Foram selecionadas as espécies que apresentam informações na literatura de alta sensibilidade aos herbicidas, para o diclosulam foi escolhido a melancia (*Citrullus lanatus*), para o imazethapyr o rabanete (*Raphanus sativus*), para o sulfentrazone a beterraba (*Beta vulgaris*) e para o fomesafen o pepino (*Cucumis sativus*). Os ensaios foram dispostos em um delineamento inteiramente casualizado, onde cada espécie bioindicadora foi semeada em vasos contendo uma das três amostras, bem como uma testemunha sem aplicação, compondo os quatro tratamentos por herbicida, com quatro repetições, totalizando 20 parcelas por ensaio. Durante a condução dos quatro ensaios não houve necessidade de aplicações de fungicidas e inseticidas, bem como o controle de plantas daninhas foi realizado por capinas manuais. A necessidade hídrica da cultura foi atendida com média de irrigações diárias de 4,5 mm.

Aos 14 DAE realizou-se a coleta das parcelas, onde as plantas foram cortadas rente ao solo e armazenadas em sacos de papel. Após a coleta as plantas foram levadas a estufa a 60 °C durante 72 horas, em seguida foi obtido a massa seca em gramas/parcela.

Para a avaliação dos resultados realizou-se a tabulação dos dados obtidos de cada um dos quatro ensaios. Para análise dos tratamentos os dados foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado no nível de 5% de probabilidade submetendo-os à análise de variância (Anova), e havendo diferença estatística significativa entre as médias dos tratamentos através do teste F, realizou-se a comparação das mesmas pelo teste de Tukey a 5%. Os cálculos estatísticos foram efetuados com auxílio do programa R (R CORE TEAM, 2019).

5.3. Resultados e Discussão

Na avaliação de massa seca das espécies bioindicadoras, em todos os tratamentos herbicidas houve diferença significativa entre as diferentes amostras de solo e a testemunha sem aplicação (Tabela 31).

Tabela 31. Massa seca das espécies *Citrullus lanatus*, *Raphanus sativus*, *Beta vulgaris* e *Cucumis sativus* em solo tratado com os herbicidas diclosulam, sulfentrazone, imazethapyr e fomesafen, além da testemunha (sem aplicação de herbicida) 14 dias após a emergência. Piracicaba/SP - 2021.

	Massa seca (g)			
Amostra de solo	**Diclosulam** (*Citrullus lanatus*)	**Sulfentrazone** (*Raphanus sativus*)	**Imazethapyr** (*Beta vulgaris*)	**Fomesafen** (*Cucumis sativus*)
Argiloso 0-20cm	0,21 **ab**	0,15 **bc**	0,06 **b**	0,15 **bc**
Argiloso 20-40cm	0,09 **b**	0,12 **c**	0,06 **b**	0,09 **c**
Médio arenoso	0,14 **ab**	0,22 **ab**	0,05 **b**	0,29 **ab**
Testemunha	0,31 **a**	0,27 **a**	0,09 **a**	0,37 **a**
CV(%)	27,8	24,2	21,7	28,7

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

No bioteste realizado em solo tratado com diclosulam observou-se uma maior redução da massa seca da espécie bioindicadora na amostra do solo argiloso em profundidade de 20-40cm, diferindo estatisticamente da testemunha e da amostra na profundidade de 0-20cm. A amostra do solo médio arenoso apresentou massa seca estatisticamente semelhante a testemunha. Com estes resultados podemos perceber que os resíduos de diclosulam provenientes da aplicação realizada durante o cultivo de soja no solo argiloso encontram-se em concentração suficiente para causar reduções significativas a planta teste apenas na camada entre 20 e 40cm de profundidade. Assim como no solo médio arenoso os resíduos do herbicida encontram-se em baixa concentração, sendo insuficientes para promover redução significativa da massa seca da espécie bioindicadora. O herbicida diclosulam apresenta o pKa de 4,09 a 20 °C, indicando sua predominância na forma aniônica em valores de pH característicos de solos agricultáveis (LAVORENTI *et al.*, 2003), ou seja, mais disponível na solução do solo e mais propício a lixiviação. Esta característica explica a maior presença da molécula na camada de 20-40cm no solo argiloso, uma vez que o herbicida aplicado inicialmente na superfície foi reposicionado na camada mais profunda. Assim como a baixa presença da molécula na amostra de solo médio arenoso, explicada pela alta porosidade do solo que potencializou ainda mais a lixiviação do herbicida.

No bioteste realizado com amostras de solo tratado com o herbicida sulfentrazone observou-se uma redução na massa seca da espécie bioindicadora em ambas as amostras coletadas em solo argiloso, diferindo da testemunha e da amostra de solo médio arenoso. A massa seca da planta teste em solo médio arenoso foi estatisticamente igual a testemunha. Apesar da elevada solubilidade em água (PPDB, 2022), a maior sorção e menor dessorção do herbicida sulfentrazone em solos argilosos (REDDY e LOCKE, 1998), acarretam em uma maior persistência dos resíduos do herbicida sulfentrazone no solo.

No ensaio realizado com a aplicação de imazethapyr observou-se uma redução significativa na massa seca da espécie bioindicadora em todas as amostras de solo tratadas com o herbicida, diferindo da testemunha. Esse resultado indica a presença de resíduos do herbicida no solo em ambos os solos tratados com o herbicida. Apesar da elevada solubilidade em água do imazethapyr (PPDB, 2022), os teores de argila e matéria orgânica encontrados em ambos os solos apresentam potencial para promover uma maior retenção dos resíduos dos herbicidas no solo, e

promover uma maior persistência no solo. Outra hipótese está no comportamento peculiar deste herbicida durante o processo natural de perda de umidade do solo, no qual o herbicida movimenta-se para cima, conduzido pelas correntes de evapotranspiração (VAN WYK & REINHARDT, 2001).

No bioteste realizado com o herbicida fomesafen os resultados se assemelharam aos encontrados no ensaio com sulfentrazone. Em ambas as amostras retiradas do solo argiloso observou-se uma redução na massa seca da espécie bioindicadora significativa, quando comparada a testemunha. No entanto, e essa mesma redução não foi observada na amostra do solo médio arenoso. Em estudo realizado por Silva *et al.* (2014) observando o comportamento do fomesafen em diferentes solos concluíram que os fatores que mais influenciam a lixiviação, em ordem decrescente de importância, foram teor de matéria orgânica, textura e pH do solo. Então, o maior teor de argila no solo argiloso provocou uma maior retenção do herbicida nas duas camadas avaliadas, entretanto, no solo médio arenoso, sendo mais propício a lixiviação, não foi observado a presença de resíduos do fomesafen.

5.4. Conclusões

No bioensaio com o diclosulam foi possível identificar a presença do herbicida apenas na camada de 20-40cm do solo argiloso.

No bioensaio com sulfentrazone foi possível identificar a presença do herbicida em ambas as camadas do solo argiloso.

No bioensaio com o herbicida imazethapyr foi possível identificar a presença deste herbicida no solo arenoso, e ambas as camadas do solo argiloso.

Assim como para o tratamento com sulfentrazone, no bioensaio com fomesafen foi possível identificar a presença deste herbicida em ambas as amostras de solo argiloso.

Referências

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Primeiro levantamento**, outubro 2021 – safra 2021/2022. : Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2021. Disponível em: < https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 17 nov. 2021.

DAN, H. A. *et al.* Resíduos de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 86-91, mar. 2012a.

DUQUE, T. S. *et al.* Uso de bioindicadoras vegetais para identificação de resíduos de herbicidas no solo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1-32, set. 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.8123. Disponível em: https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.8123. Acesso em: 17 nov. 2021.

FREITAS, M. A. M. *et al.* Sorção do sulfentrazone em diferentes tipos de solo determinada por bioensaios. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 385-392, jun. 2014. DOI: 10.1590/S0100-83582014000200016. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582014000200016. Acesso em: 17 nov. 2021.

LAVORENTI, A. *et al.* Comportamento do diclosulam em amostras de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto e convencional. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 183-190, 2003.

MANCUSO, M. A. C. *et al.* Efeito residual de herbicidas no solo ("Carryover"). **Rev. Bras. Herb.**, Londrina, v.10, n.2, p.151-164, ago. 2011. DOI 10.7824/rbh.v10i2.106. Disponível em: https://doi.org/10.7824/rbh.v10i2.106. Acesso em: 17 nov. 2021.

MARCHESAN, E. D. *et al.* Seleção de espécies bioindicadoras para uso em bioensaios de lixiviação e persistência de atrazina no solo. **Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente**, Curitiba, v. 21, p. 47-54, dez. 2011. DOI: 10.5380/pes.v21i0.25937. Disponível em: https://doi.org/10.5380/pes.v21i0.25937. Acesso em: 17 nov. 2021.

MELO, C. A. D. *et al.* Lixiviação de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen no perfil de três solos. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 385-392, jun. 2010. DOI: 10.1590/S0100-83582010000200018. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000200018. Acesso em: 17 nov. 2021.

MELO, C. A. D. *et al.* Lixiviação de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen no perfil de três solos. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 385-392, jun. 2010. DOI: 10.1590/S0100-83582010000200018. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000200018. Acesso em: 17 nov. 2021.

MENDES, K. F. *et al.* Seleção de plantas indicadoras para o monitoramento do mesotrione e metribuzin em solo argiloso. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 13, n. 1, p. 53-59, abr. 2015.

OLIVEIRA, M. F. Comportamento de Herbicidas no Ambiente. In: OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J (org). **Plantas Daninhas e seu Manejo**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 362p.

OLIVEIRA, T. L. *et al.* Seleção de espécies bioindicadoras do herbicida ethoxysulfuron. **Rev. Cienc. Agrar.,** v. 61, out. 2018.

PPDB – Pesticide Properties DataBase. **Agriculture & Environment Research Unit (AERU)**. Hertfordshire, University of Hertfordshire, 2022. Disponível em: https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm . Acesso em: 26 jan. 2022.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponível em: https://www.R-project.org. Acesso em: nov. 2021

REDDY, K. N.; LOCKE, M. A. Sulfentrazone sorption, desorption, and mineralization in soils from two tillage systems. **Weed Sci.**, v. 46, n. 4, p. 494-500, 1998. DOI: 10.1017/S0043174500090950. Disponível em: https://doi.org/10.1017/S0043174500090950. Acesso em: 17 nov. 2021.

SILVA, G. R. *et al.* Mobilidade do fomesafen em solos brasileiros. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 639–645, 2014. DOI: 10.1590/s0100-83582014000300020. Disponível em: https://doi.org/10.1590/s0100-83582014000300020. Acesso em: 17 nov. 2021.

VAN WYK, L. J.; REINHARDT, C. F. A bioassay technique detects imazethapyr leaching and liming-dependent activity. **Weed Science**, v.15, n.3, p.1-6, 2001. DOI: 10.1614/0890-037X(2001)015[0001:ABTDIL]2.0.CO;2. Disponível em: https://doi.org/10.1614/0890-037X(2001)015[0001:ABTDIL]2.0.CO;2. Acesso em: 17 nov. 2021.

6. CONSIDERAÇÕES GERAIS

As sucessões com algodão e girassol apresentam elevado potencial carryover quando semeadas em solo tratado com o herbicida diclosulam durante o cultivo de soja. Assim como os herbicidas sulfentrazone, imazethapyr e fomesafen quando empregados no cultivo de soja apresentam elevado potencial carryover para o sorgo em sucessão. Apenas a sucessão com milho não foi observada efeito carryover para os quatro herbicidas aplicados durante o cultivo de soja.

As espécies de cobertura braquiária e aveia-preta apresentaram elevada sensibilidade aos herbicidas diclosulam, sulfentrazone e imazethapyr mesmo aplicados 180 dias antes da semeadura. Já a espécie de cobertura milheto apresentou elevada sensibilidade aos quatro herbicidas aplicados durante o cultivo da soja. Apenas o tremoço-branco não apresentou sensibilidade a nenhum dos tratamentos.

A característica teor de clorofila, mensurada através do índice SPAD, não se mostrou eficiente para o estudo do carryover de herbicidas aplicados durante o cultivo da soja sobre as espécies semeadas em sucessão.

No bioensaio com diclosulam, a espécie bioindicadora permitiu confirmar a presença dos resíduos do herbicida apenas na camada 20-40cm no solo argiloso. Já os bioensaios com os herbicidas sulfentrazone e fomesafen permitiram confirmar a presença dos resíduos desses herbicidas em ambas as camadas do solo argiloso. Apenas no bioensaio com imazethapyr foi confirmado a presença dos resíduos de herbicidas nas amostras do solo argiloso e na amostra de solo médio arenoso.