

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Dinâmica da mistura formulada de sulfentrazone com diuron e o
herbicida diclosulam no solo e os efeitos residuais em milho, sorgo e
feijão**

Leonardo Lombardi Perez

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2023**

Leonardo Lombardi Perez
Engenheiro Agrônomo

**Dinâmica da mistura formulada de sulfentrazone com diuron e o herbicida
diclosulam no solo e os efeitos residuais em milho, sorgo e feijão**
versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **RICARDO VICTORIA FILHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2023

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

Perez, Leonardo Lombardi

Dinâmica da mistura formulada de sulfentrazone com diuron e o herbicida diclosulam no solo e os efeitos residuais em milho, sorgo e feijão / Leonardo Lombardi Perez - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2023.

88 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Herbicidas no solo 2. Comportamento de herbicidas 3. Inibidores da Protocloroquinona 4. Inibidores do fotossistema II. 5. Inibidores da ALS. 6. Culturas em sucessão I. Título

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Antonio e Sueli e a minha amada esposa Elen Juliana

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde e força para a conclusão de mais uma etapa da vida;

Aos meus pais Sueli e Antonio por sempre acreditarem em mim;

À minha querida esposa Elen Juliana Bonassa de Sousa Perez, por toda dedicação, companhia e paciência durante os períodos mais importantes do doutorado;

À Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” em particular ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia e ao Departamento de Produção Vegetal pela oportunidade de realizar este trabalho;

Ao Professor Dr. Ricardo Victoria Filho pela orientação, amizade, colaboração, oportunidade e pelas suas contribuições à minha formação profissional;

Ao professor Dr. Caio Carbonari (UNESP/Botucatu), pelos esclarecimentos, orientações, pela amizade, e permitir usar o Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia - *NUPAM* que tanto auxiliou na realização deste trabalho;

Aos amigos Engenheiros Agrônomos Marcelo Galvão Dagosto e Fernando Paixão, por todo o companheirismo e auxílio nos experimentos;

Aos meus amigos Engenheiro Agrônomo Dr. Gustavo Soares da Silva, Dr. André Moreira Silva e Danilo Garcia, pelo auxílio na escrita da dissertação e conhecimento passados sobre a área de estatística e experimentação;

À FMC Química do Brasil, pela oportunidade concedida em poder fazer este trabalho na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigado;

Muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
INTRODUÇÃO.....	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 Soja.....	13
2.2 Milho.....	14
2.3 Feijão.....	14
2.4 Sorgo.....	15
2.5 Herbicidas de aplicação de pré-emergência e a dinâmica no solo.....	16
2.6 Efeitos dos herbicidas residuais em culturas sucessoras.....	19
2.7 Herbicidas inibidores de protoporfirinogênio oxidase.....	21
2.8 Herbicidas inibidores de fotossistema II	23
2.9 Herbicidas Inibidores da Acetolactato Sintase (ALS).....	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1.1 Experimento no campo.....	27
3.1.2 Aplicação e plantio.....	30
3.1.3 Avaliações.....	31
3.2.1 Laboratório.....	32
3.2.2 Extração.....	33
3.2.3 Parâmetros do LC/MS/MS.....	33
3.3 Correlação entre as concentrações do sulfentrazone, diuron e diclosulam no solo e os níveis de fitotoxicidade nas culturas semeadas.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
4.1.1 Análises de resíduos de sulfentrazone	37
4.1.2 Análises de resíduos de diuron.....	40
4.1.3 Análises de resíduos de diclosulam.....	43
4.2.1 Correlação entre as concentrações de sulfentrazone e diuron no solo e o efeito de fitotoxicidade no sorgo.....	45
4.2.2 Correlação entre as concentrações de sulfentrazone e diuron no solo e o efeito de fitotoxicidade no feijão.....	51

4.2.3 Correlação entre as concentrações de sulfentrazone e diuron no solo e o efeito de fitotoxicidade no milho.....	57
4.3.1 Correlação entre as concentrações de diclosulam no solo e o efeito de fitotoxicidade no sorgo.....	62
4.3.2 Correlação entre as concentrações de diclosulam no solo e o efeito de fitotoxicidade no feijão.....	66
4.3.3 Correlação entre as concentrações de diclosulam no solo e o efeito de fitotoxicidade no milho.....	70
5 CONCLUSÃO.....	75
REFERÊNCIAS.....	77

RESUMO

Dinâmica da mistura formulada de diuron com sulfentrazone e o herbicida diclosulam no solo e os efeitos residuais em milho, sorgo e feijão.

Herbicidas que apresentam persistência no solo, podem apresentar problemas em culturas semeadas em sucessão à soja, devido ao efeito residual no solo, podendo impactar em perdas de produtividade. Os herbicidas podem sofrer diferentes processos quando presente no solo, sendo os principais a sorção, lixiviação e degradação por efeitos químicos e biológicos. Estes processos irão determinar a quantidade do produto que estará disponível na solução do solo, de modo a garantir a segurança para a implantação da sucessão de culturas. Desta forma, os objetivos desta pesquisa foram avaliar a lixiviação e disponibilidade dos herbicidas sulfentrazone, diuron e diclosulam no solo quando aplicados em diferentes períodos e avaliar o efeito residual dos herbicidas nas culturas de milho, sorgo e feijão. Foram instalados dois experimentos, com aplicações do herbicida formulado em mistura comercial de sulfentrazone com diuron nas doses de 245 + 490 g i.a. ha⁻¹, e 490 + 980 g i.a. ha⁻¹ respectivamente, além do herbicida diclosulam na dose de 35 g i.a. ha⁻¹. Para a quantificação dos herbicidas que foram aplicados em diferentes períodos (120, 90, 60, 30 e 0 dias anteriores ao plantio), em áreas de solo argiloso e de solo arenoso, foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm em cada tratamento. Após a determinação das concentrações dos herbicidas nas amostras, foi realizado um estudo comparando os resultados da quantidade de sulfentrazone com diuron e diclosulam e as porcentagens de fitotoxicidade às culturas observadas em campo. Em todas as áreas e épocas de aplicação avaliadas, os herbicidas sulfentrazone e diclosulam foram detectados nas camadas do solo, o que demonstra uma grande mobilidade e persistência no solo. Por outro lado, o diuron foi observado em maior concentração nas épocas próximos ao plantio e na camada superficial de 10 cm, confirmando a baixa mobilidade deste herbicida no solo. Para a mistura formulada de sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) + diuron (490 g.i.a ha⁻¹), são necessários 120 dias entre a aplicação e a semeadura do sorgo em solo argiloso e em solo arenoso. As concentrações dos herbicidas na solução do solo neste período foram de 2,91 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,34 ng g⁻¹ de diuron em solo argiloso e de 1,85 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,36 ng g⁻¹ de diuron em solo arenoso. Para o feijão deve-se respeitar um período de 60 dias em solo argiloso, sendo as concentrações encontradas na solução do solo de 4,70 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,89 ng g⁻¹ de diuron e 120 dias para o solo arenoso com concentrações de 1,85 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,36 ng g⁻¹ de diuron. O milho, pode ser semeado em um período após 30 dias em solo argiloso, com concentrações aceitáveis na solução do solo de 5,91 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,48 ng g⁻¹ de diuron e 60 dias no solo arenoso, nas concentrações detectadas de 3,38 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,52 ng g⁻¹ de diuron. Para o herbicida diclosulam (35 g i.a. ha⁻¹), são necessários 60 dias entre a aplicação e a semeadura do sorgo em solo argiloso. A concentração do herbicida na solução do solo neste período foi de 0,10 ng g⁻¹ de diclosulam. Em solo arenoso deve-se aguardar períodos maiores que 120 dias entre a aplicação do diclosulam e a semeadura do sorgo. Para o feijão deve-se respeitar um período de 30 dias em solo argiloso, sendo as concentrações encontradas na solução do solo de 0,33 ng g⁻¹ de diclosulam e 120 dias para o solo arenoso com concentração de 0,06 ng g⁻¹ de diclosulam. O milho, pode ser semeado em um período de 120 dias entre a aplicação e a semeadura do milho em solo argiloso e em solo arenoso, sendo que a quantidade máxima tolerada pela cultura deste herbicida na solução do solo neste período foi de 0,05 e 0,06 ng g⁻¹ de diclosulam respectivamente.

Palavras-chave: Herbicida no solo, Comportamento de herbicidas, Inibidores da Prottox, Inibidores do Fotossistema II, Inibidores da ALS, Culturas em sucessão

ABSTRACT

Dynamic of the formulated mixture of sulfentrazone with diuron and the diclosulam in the soil and the residual effects on corn, sorghum and beans

Herbicides that have persistence in the soil may present problems in crop rotation in succession to soybeans due to the residual effect on the soil, which may cause yield losses. Herbicides may change different processes when present in the soil, being sorption, leaching and degradation by chemical, and biological effects the main ones. These processes will determine the product amount that will be available in the soil solution in order to guarantee safety for crop rotations. The objectives of this study were to evaluate the sulfentrazone, diuron and diclosulam leaching in the soil when applied at different periods and to establish a correlation between the herbicide levels in corn, sorghum and beans. Two experiments were installed with applications of the herbicide formulated in a commercial mixture of sulfentrazone + diuron at rates of 245 + 490 g a.i. ha⁻¹, and 490 + 980 g a.i. ha⁻¹ respectively. Diclosulam was sprayed at rate of 35 g a.i. ha⁻¹ in addition to this commercial mixture. For the quantification of herbicides, they were applied in different periods (120, 90, 60, 30 and 0 days before sowed) in the areas of clayey and sandy soil, and the soil samples were collected at depths of 0 to 10 cm and 10 to 20 cm in each treatment. After determining the herbicide concentrations in the samples, a study was carried out comparing the results of the amount of sulfentrazone with diuron and diclosulam, and the percentages of phytotoxicity of the crops observed in the field. In all areas and application times evaluated, the herbicides sulfentrazone and diclosulam were detected in all soil layers, both in the clayey and sandy areas, demonstrating high mobility and persistence in the soil. On the other hand, diuron was observed in higher concentration in the periods close to sowing and in the surface layer (up to 10 cm), confirming the low mobility of this herbicide in the soil. For herbicides sulfentrazone (245 g a.i ha⁻¹) + diuron (490 g a.i. ha⁻¹), 120 days are required between application and sowing sorghum in both clayey and sandy soil. The herbicides concentrations in the soil solution in this period were 2.91 ng g⁻¹ of sulfentrazone + 0.34 ng g⁻¹ of diuron in clayey soil, and 1.85 ng g⁻¹ of sulfentrazone + 0.36 ng g⁻¹ of diuron in sandy soil. To sow beans, a period of 60 days must be respect in clayey soils, with concentrations found in the soil solution of 4.70 ng g⁻¹ of sulfentrazone + 0.89 ng g⁻¹ of diuron, and 120 days in sandy soil with concentrations found in the soil solution of 1.85 ng g⁻¹ of sulfentrazone + 0.36 ng g⁻¹ of diuron. To sow corn, a period after 30 days in clayey soil is necessary, with acceptable concentrations in the soil solution of 5.91 ng g⁻¹ of sulfentrazone + 0.48 ng g⁻¹ of diuron, and 60 days in sandy soil are necessary, with acceptable concentration of 3.38 ng g⁻¹ of sulfentrazone + 0.52 ng g⁻¹ of diuron. To sow sorghum, it takes 60 days after application of diclosulam 35 g a.i ha⁻¹ in clayey soil, with acceptable concentrations in the soil solution of 0.10 ng g⁻¹ of diclosulam. In sandy soil, a period of 120 days must be respected to sow. To sow beans, it takes 30 days after application in clayey soil, with acceptable concentrations in the soil solution of 0.33 ng g⁻¹ of diclosulam, and 120 days in sandy soil at the concentrations of 0.06 ng g⁻¹ of diclosulam. To sow corn, it takes 120 days after application in both clayey and sandy soil, with acceptable concentrations in the soil solution of 0.05 and 0.06 ng g⁻¹ of diclosulam respectively.

Keywords: Soil herbicide, Herbicide behavior, Protox inhibitors, Photosystem II inhibitors, ALS inhibitors, Sequential crop

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado um dos maiores produtores de alimento do mundo. Destaca-se no país a produção de milho, sorgo e feijão durante o período de entressafra em sucessão à soja. A tendência é de crescimento dessas culturas nos próximos anos em função do aumento da população mundial e a demanda para a produção de ração para os animais (CONAB, 2022).

A aplicação de herbicidas de pré-emergência com período residual é uma prática que tem aumentado na cultura da soja, por ser uma ferramenta importante na diversificação de mecanismos de ação no controle de plantas daninhas, retardando a seleção de espécies resistentes de plantas daninhas aos herbicidas de aplicação de pós emergência (HEAP 2021, NORSWORTHY et al., 2012).

Para recomendações seguras de herbicidas de aplicação de pré-emergência, do ponto de vista técnico e ambiental (alta eficácia de controle de plantas daninhas, ausência de intoxicação nas culturas e de contaminação de solo e água), é necessário conhecer as interações dos herbicidas com características físicas e químicas do solo (SILVA et al., 2013). Em razão da falta de planejamento com a utilização de herbicidas residuais nas lavouras, tem se ampliado os riscos de contaminação nas culturas semeadas em sucessão.

Dentre os herbicidas registrados para a cultura da soja, que apresentam longo período residual, destaca-se a associação de sulfentrazone com diuron, que é registrado no Brasil com o nome comercial de Stone, para o controle de plantas daninhas mono e eudicotiledôneas. Comercializado na formulação de suspensão concentrada, na concentração de 175 g de sulfentrazone e 350 g de diuron L⁻¹, pertence ao grupo químico das triazolinonas e ureias substituídas, sendo o mecanismo de ação a inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) e do fotossistema II, respectivamente. Os principais sintomas observados nas plantas sensíveis são clorose, redução no crescimento e necrose foliar (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). A associação de herbicidas é realizada com os objetivos de aumentar o espectro de controle das plantas daninhas, aumento do período residual e diminuição da possibilidade de resistência das plantas daninhas aos herbicidas, sendo uma prática recorrente em diversos países.

Outro herbicida com registro no Brasil para a cultura da soja que apresenta longo período residual, é o diclosulam, com o nome comercial de Spider 840 WG, que apresenta controle de plantas daninhas mono e eudicotiledôneas. Comercializado na formulação de granulado dispersível, na concentração de 840 g i.a. kg⁻¹, e pertencente ao grupo químico das

triazolopirimidinas, apresenta mecanismo de ação inibição da acetolactato sintase (ALS). Os principais sintomas apresentados pelas plantas sensíveis são clorose e necrose nos pontos de crescimento (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018).

O milho (*Zea mays*), é a segunda cultura com maior área colhida no Brasil, com uma produção estimada anual de 113 milhões de toneladas, sendo o Estado de São Paulo responsável por 4,32 milhões de toneladas (CONAB, 2022). A semeadura do milho após a soja, denominada de milho safrinha ou de segunda safra, é considerado a principal época de plantio em várias regiões do Brasil. O plantio no Estado de São Paulo, é realizado nos meses de março a abril, que usualmente apresenta condições climáticas favoráveis para a condução desta cultura (PEREIRA FILHO; BORGHI, 2018).

O sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L.) pode ser indicado como uma opção para a produção de biomassa e grãos para alimentação animal. Devido a rusticidade e por ser mais tolerante à seca do que o milho, produtores do Estado de São Paulo têm semeado essa cultura após o cultivo da soja, permitindo uma maior janela de plantio (MAGALHÃES et al., 2003; TARDIN et al., 2013). No entanto, pesquisas demonstram que o sorgo apresenta sensibilidade aos herbicidas residuais comumente utilizados na soja, e podem comprometer a produtividade desta cultura quando cultivado em sucessão (DAN et al., 2010).

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa que apresenta uma relevância econômica em diferentes regiões do Brasil, com uma produção estimada anual de 3,0 milhões de toneladas, sendo o Estado de São Paulo responsável por 185 mil toneladas (CONAB, 2022). O feijão tem perdido espaço no cultivo de verão para a cultura da soja, devido a maior rentabilidade. De acordo com o Instituto Brasileiro do Feijão, o Brasil é o maior produtor mundial dessa leguminosa sendo o grupo comercial carioca a mais relevante. No entanto, internacionalmente apresenta baixo consumo devido a alta taxa de deterioração (IBRAFE, 2018). Dessa forma, o cultivo tem sido realizado em sucessão ao plantio da soja.

O uso de cultivares de soja precoce associado a técnicas de antecipação de colheita diminui o intervalo entre a aplicação de herbicidas na cultura da soja e a semeadura do cultivo em sucessão. Dessa forma, os riscos de efeitos residuais desses herbicidas aumentam, e as informações sobre os intervalos entre a aplicação dos produtos e a implantação da cultura sucessora se torna fundamentais para que não haja perda de produtividade durante o período da entressafra.

Desse modo, a presente pesquisa foi realizada com o objetivo de estudar a dinâmica dos

herbicidas sulfentrazone e diuron, aplicados em mistura comercial e do herbicida diclosulam quando aplicados em diferentes períodos e avaliar o efeito residual dos herbicidas nas culturas de milho, sorgo e feijão em diferentes tipos de solo em situações de campo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Soja

A cultura da soja destaca-se como a mais relevante do Brasil, apresenta diversas utilidades sendo uma importante fonte de proteína para a alimentação humana, o farelo para a nutrição animal e o óleo na produção de biodiesel e bens de consumo para medicamentos.

O Brasil é o maior produtor e exportador no mundo de soja, com uma área plantada na safra 2021/22 de aproximadamente 41 milhões de hectares, com produtividade média de 3.029 kg/ha. Atualmente, a produção de soja se expande de forma expressiva nas Regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste, sendo o Estado de São Paulo corresponde à 3% da área plantada do País (CONAB, 2022).

Para alcançar alta produtividade na cultura da soja, é necessário realizar o correto manejo de plantas daninhas, caso contrário, a perda de produtividade poderá ser total, seja competindo por luz, nutrientes, água e espaço ou através dos danos indiretos, diminuindo o rendimento operacional na colheita. Entre as mais diversas formas de manejar as plantas daninhas no cultivo de soja, destaca-se o controle químico. O controle químico das plantas daninhas é considerado o principal método utilizado nas áreas de produção do Brasil, devido a praticidade e alta eficiência de controle.

O herbicida glifosato é o mais vendido do mundo, foi classificado em 1º lugar no ranking dos ingredientes ativos mais vendidos no Brasil, no período de 2009 a 2017 (IBAMA, 2019). Trata-se de um herbicida pouco tóxico, com amplo espectro de controle de plantas daninhas, baixo custo, rápida dissipação no meio ambiente, associado ao uso de práticas conservacionistas na dessecação pré-plantio da soja e é utilizado em aplicação de pós emergência da soja geneticamente modificada tolerante ao glifosato para o controle das plantas daninhas (BAYLIS, 2000).

Devido ao uso intensivo do herbicida glifosato nos últimos anos, as outras práticas do sistema de manejo integrado de plantas daninhas foram incorporadas com menor frequência no planejamento das safras. A adoção do manejo fundamentado preferencialmente no uso de herbicidas de aplicação de pós emergência, resultou no aumento de casos de biótipos resistentes (BORGATO, 2018) e a introdução de herbicidas de aplicação em pré-emergência tem ganhado relevância devido a necessidade de inserir diferentes mecanismos de ação no sistema.

2.2. Milho

O milho apresenta grande relevância mundial, sendo considerado um dos mais importantes cereais cultivados, em função do valor nutritivo para alimentação humana e animal, potencial produtivo e composição química (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

No Brasil é a segunda cultura com maior área colhida, com 21,5 milhões de hectares plantados em 2022 e produção de 113,3 milhões de toneladas com produtividade média de 5248 kg ha⁻¹. Neste mesmo ano a segunda safra foi responsável pela maior produção que foi de 86,1 milhões de toneladas e produtividade média 5258 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022).

O período de semeadura acontece em duas épocas no Brasil. A primeira safra denominada de verão é realizada durante o período chuvoso, que compreende entre o final de agosto na região Sul até os meses de outubro a novembro no Sudeste e no Centro Oeste do país. A segunda safra, nomeada de “safrinha”, é definida pela semeadura entre os meses de janeiro, fevereiro, março e em sistemas irrigados até abril, sendo semeada após a primeira safra, que em quase em sua totalidade é realizada após o plantio da soja, objetivando o aproveitamento das chuvas restantes, antes do período da seca, com predominância na região Centro-Oeste e nos estados de São Paulo e Paraná (ESTEVES et al., 1994). Nos últimos anos, essa categoria de cultivo tem adquirido relevância, segundo a CONAB (2022) em 2022 a segunda safra foi responsável por 76 % da produção total de milho no ano.

No entanto, a semeadura do milho de segunda safra pode sofrer riscos de perda de produtividade em virtude das temperaturas baixas e menores precipitações. Os veranicos prolongados, é considerado como o principal fator de risco de perda para o milho safrinha que podem ocorrer eventualmente durante todo o ciclo da cultura, podendo chegar a prejuízos de 80 a 100%, em alguns anos (CARDOSO; FARIA; FOLEGATTI, 2004; LANGE et al., 2014).

2.3. Feijão

Entre as culturas que crescem em produtividade e área no Brasil com uso de novas tecnologias, destaca-se o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Por apresentar importância na alimentação do brasileiro, o feijão é um dos produtos agrícolas de maior importância econômico-social. Com produção na safra 2021/22 de 3,0 milhões de toneladas e área equivalente a 2,85 milhões de hectares, o feijão comum é uma das culturas mais representativas do Brasil (CONAB, 2022).

A implantação da cultura do feijão apresenta vantagens nas janelas de plantio, devido ao ciclo curto, podendo apresentar várias safras durante o mesmo ano. O feijão apresenta características para ser cultivado em diferentes condições edafoclimáticas, possibilitando o plantio em todo o território brasileiro, tanto em plantio consorciado como no monocultivo. O cultivo acontece em três safras distintas, sendo as épocas de plantio e colheita dependentes da região onde são cultivadas (VIEIRA et al., 2006). Muitos produtores agrícolas utilizam a prática de rotação de culturas, realizando o rodízio entre as culturas da soja, milho e feijão, principalmente em áreas irrigadas.

O estado da Bahia é o maior produtor nacional de feijão com área plantada de 408 mil hectares anuais, sendo o Estado de São Paulo o décimo maior produtor, com 83 mil hectares anuais. Na região sul do Estado, é bastante expressivo o cultivo do feijão-comum. A área plantada de feijão no Estado de São Paulo manteve-se estável nos últimos anos, porém a produtividade tem aumentado, devido às novas tecnologias implementadas (CONAB, 2022).

O manejo de plantas daninhas na cultura do feijão é realizado principalmente pelo controle químico, apresentando benefícios quando aplicado adequadamente. No entanto, o *carryover* e o aparecimento de biótipos de plantas daninhas resistentes tem tornado o controle químico cada vez mais complexo (ARTUZI; CONTIERO, 2006).

Entre os herbicidas registrados para a cultura do feijão, destaca-se o bentazon, imazamox e fomesafen para o controle de plantas daninhas dicotiledôneas, além do sethoxydim e fluazifop-p-butil para o controle de monocotiledôneas.

Algumas pesquisas comprovam o efeito residual de herbicidas como o fomesafen, aplicados na cultura do feijão e da soja, sobre as culturas do milho e do sorgo plantados em sucessão (COBUCCI, 1996; RODRIGUES & ALMEIDA, 2018).

2.4. Sorgo

O sorgo granífero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma espécie tropical originária da África, pertencente à família Poaceae e é considerado o quinto cereal mais cultivado no mundo, sendo uma importante fonte calórica na alimentação humana em países em desenvolvimento (KUMAR et al., 2011). É uma planta de metabolismo C4, com alta eficiência fotossintética e maior tolerância a estresses abióticos, especialmente ao estresse hídrico (ASSEFA et al., 2010, SCHLEGEL et al., 2018).

No Brasil, o sorgo granífero tem sido uma opção em substituição ao milho para a produção de rações para suínos, bovinos, aves e cães (RODRIGUES et al., 2012). Apresenta como benefício a adaptação a diversos ambientes, manifestando tolerância ao stress hídrico e solos com baixa fertilidade, quando comparadas com outras culturas de grãos. O cultivo tem sido realizado na segunda safra, onde o desempenho tem sido superior quando comparado à cultura do milho (VON PINHO et al., 2007).

Na região do cerrado seu cultivo assume destaque em alternativa ao cultivo de milho, principalmente em plantios em sucessão à soja, trazendo grandes vantagens econômicas ao produtor na formação de palhada, produtividade de grãos e forragem (FONSECA et al., 2008). Na época em que ocorre o desenvolvimento da safrinha, a frequência e o volume das chuvas costumam ser oscilantes e insuficientes (ALMEIDA FILHO et al., 2010), especialmente nas regiões do cerrado brasileiro. Programas de melhoramento tem buscado cultivares de sorgo granífero mais adaptadas à estas condições, apresentando alto rendimento de grãos, altura de planta ideal para colheita e precocidade (KUMAR et al., 2011).

A época de florescimento tem alta correlação com o ciclo da cultura e é uma importante característica para o sorgo safrinha por ser uma fase sensível ao stress hídrico. Dessa forma, quanto mais cedo a planta completar o seu ciclo, menor será o risco de sofrer com o período seco (MENEZES et al., 2015).

Atualmente, estudos sobre mudanças climáticas indicam o aumento da temperatura do ar e a ocorrência de eventos climáticos extremos, como secas e chuvas excessivas (MENEZES et al., 2015). Dessa forma, culturas com mecanismos de resistência a períodos com baixa precipitação e com maior tolerância a estresse hídrico serão uma importante alternativa para o mercado agrícola.

2.5. Herbicidas de aplicação de pré-emergência e a dinâmica no solo

A aplicação de herbicidas em pré-emergência pode ser realizada antes do plantio da cultura (sistema aplique e plante), ou após o plantio da cultura (sistema plante e aplique), antes da emergência da cultura e das plantas daninhas. Nesta modalidade, as plantas daninhas serão controladas nos estádios iniciais de desenvolvimento, buscando eficácia de controle antes do período crítico de competição com a cultura (MONQUERO et al., 2008).

A dinâmica dos herbicidas no ambiente resulta na interação de processos químicos (fotodecomposição, sorção, reações químicas com os constituintes do solo), físicos

(volatilização, lixiviação e transporte do solo por vento e água) e biológicos representados pela decomposição microbiana da molécula (KEARNEY et al., 1970, BLANCO, 1979).

Rocha et al. (2013) afirmaram que a absorção dos herbicidas pelas plantas, a eficácia no controle das plantas daninhas e a dinâmica no solo, baseiam-se muitas vezes do equilíbrio entre os processos de sorção e dessorção. Sorção é o processo que mais controla a lixiviação, pois refere-se à concentração do herbicida que estará disponível na solução do solo, sendo suscetível ao transporte descendente. Normalmente, quanto maior for a sorção do herbicida pelos colóides do solo menor será a sua degradação e mobilidade no solo. A sorção dos produtos no solo é influenciada pela concentração de matéria orgânica, tipo e quantidade de argila, solubilidade, pH e capacidade de ionização das moléculas e precipitação pluvial. Dessa forma, o herbicida deve permanecer disponível no ambiente o tempo suficiente para o controle das plantas daninhas durante o período crítico de competição entre a cultura e as plantas daninhas, entretanto, não persistindo no solo de modo que venha a causar injúria às culturas que venham em sucessão (OLIVEIRA JR et al., 2001).

As forças responsáveis pelas reações e sorção dos herbicidas no solo incluem as forças físicas como ligações de hidrogênio, forças de Van der Waals, forças eletrostáticas, ligações covalentes e interações hidrofóbicas (SILVA et al., 2013). As ações de dessorção e sorção dos herbicidas são inerentes das propriedades químicas e físicas da molécula como a basicidade e acidez (pK_b ou pK_a), solubilidade em água, distribuição de carga nos cátions orgânicos, entre outras (QUEIROZ; LANÇAS, 1997). Dessa forma, o pK_a é a constante de dissociação em meio ácido, é o pH onde metade das moléculas estão ionizadas e metade não ionizadas. Este parâmetro mostra o valor de pH em que as formas ionizadas e não-ionizadas do herbicida ocorrem em iguais concentrações, sendo que, cada uma das formas, por 50% da concentração total do composto (PROCÓPIO et al., 2003).

Para o herbicida sulfentrazone que apresenta pK_a de 6,56 (Tabela 1), em uma situação em que foi aplicado em solo com pH de 5,3 poderá favorecer a sorção do sulfentrazone no solo, visto que este possui comportamento de ácido fraco. Nesse caso, quando o pH do solo é menor que o pK_a do herbicida, predomina a forma molecular, favorecendo a sorção do herbicida no solo, entretanto, quando os valores de pH são superiores ao pK_a a forma aniônica é a dominante (GREY et al., 2000).

Outro processo ao qual o herbicida está sujeito é o transporte, pode acontecer através do arraste de gotas de pulverização fora do local alvo pela ação do vento (deriva), ou líquido para gasoso (volatilização), sendo este efeito determinado pela pressão de vapor do herbicida. Esta

característica indica o grau de volatilidade do herbicida que pode se perder na forma gasosa para a atmosfera. Perdas por volatilização são muito variáveis, podendo ser de 10 a 90%, comparadas a uma perda típica de 0 a 4% por lixiviação e 0 a 10% por escoamento superficial (OLIVEIRA, 2001; GRAVEEL, TURCO, 1994).

Outros processos que podem ocorrer são o escoamento superficial e sub-superficial pelo transporte de solo da camada tratada com o herbicida, e a lixiviação se refere ao movimento descendente da molécula em solução no perfil do solo e está vinculado ao processo de sorção. Ambos dependem das características e propriedades do solo e das características físico-químicas dos herbicidas permitindo que estes permaneçam em diferentes faixas na camada do solo e não apenas superficialmente onde são aplicados, controlando as plantas daninhas que germinam em diferentes profundidades (BLANCO, 2003; INOUE, 2003).

A quantidade de herbicida dissolvida em água indicará a proporção do herbicida que poderá estar disponível na solução do solo, caracterizando a solubilidade do herbicida em água (S_w). Quanto maior a quantidade de grupos hidrofílicos, maior será sua afinidade pela água, logo, maior sua solubilidade (CHRISTOFFOLETI & OVEJERO, 2005). O coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) representa a proporção entre as quantidades de uma substância química, que migram após agitação em um frasco de separação, para um solvente, geralmente o octanol ou para a água. Este coeficiente mede a afinidade que o composto tem, quer seja lipofílica ou hidrofílica. Quanto maior a lipofilicidade do herbicida, maior será a sua tendência de ser sorvido pelos colóides do solo e por consequência será menor a sua lixiviação, por outro lado, este apresentando uma maior hidrofiliidade sua sorção será menor inversamente proporcional a lixiviação.

A persistência do herbicida no solo está relacionada, dentre outros fatores, a degradação da molécula. Logo o tempo de meia vida ($T_{1/2}$) dos herbicidas é definida como o tempo necessário para que ocorra a degradação de 50% da quantidade aplicada inicialmente, podendo servir de parâmetro para avaliar a permanência do herbicida no ambiente. Essa característica de persistência é variável para cada herbicida, e irá influenciar diretamente o período de controle das plantas daninhas e a possibilidade de intoxicação de culturas plantadas em sucessão (SILVA et al., 2012).

As culturas plantadas em sucessão toleram de maneira diferente a concentração do herbicida ainda presente no solo, podendo ser chamado de concentração residual do herbicida. Dessa forma, é necessário conhecer os parâmetros de cada molécula, por exemplo, o tempo de meia vida ($T_{1/2}$) e o coeficiente de sorção (K_d ou K_{oc}), de acordo com as características do solo.

O período residual e a disponibilidade dos herbicidas na solução do solo são regulados por fatores como lixiviação, sorção, e degradação biológica, influenciando dessa forma a persistência do herbicida no solo (OLIVEIRA JR et al., 2011).

O conhecimento dos agentes como tipo de solo, condições climáticas e características dos produtos, é de substancial importância para prever o comportamento de herbicidas nas classes de solo e para seleção de dosagens adequadas, bem como para evitar efeitos prejudiciais ao ambiente e às culturas sucessoras (ROSSI et al., 2005). Em geral, a degradação de herbicidas é acentuada quando o solo apresenta alta umidade e temperaturas altas (ZIMDAHL, 2007). O conteúdo e as características da argila e da matéria orgânica afetam as interações do herbicida no solo (LEVANON et al., 1993; CZAPAR et al., 1994). Geralmente, em solo de baixo pH, alta matéria orgânica e alto teor de argila, a sorção do sulfentrazone na fase sólida do solo aumenta e a mobilidade diminui (GREY et al., 1997; OHMES, MUELLER, 2007). Segundo Brum et al (2013) o herbicida sulfentrazone apresentou tempo de meia vida de 34 a 116 dias dependendo do solo e das condições ambientais, onde o herbicida foi degradado mais rapidamente em condições de maior umidade, temperatura de 40 °C e nos horizontes superficiais de solo (0-30 cm).

A aplicação de herbicidas em misturas comerciais formuladas, pode fazer com que cada molécula tenha uma dinâmica no solo diferente comparado a aplicação isolada, de modo que a mobilidade dos herbicidas no solo seja variável, tendo cada herbicida um transporte característico no perfil do solo, permitindo um maior espectro de controle, aumento do período residual e auxílio no manejo de espécies de plantas daninhas resistentes. Garcia et al. (2012) estudando hexazinone, diuron e sulfometuron isolados e associados, revelaram que o diuron e o sulfometuron não apresentaram predisposição de lixiviação nos solos argiloso e arenoso, e o hexazinone e a associação das três moléculas apresentaram potencial de lixiviação no solo arenoso.

2.6. Efeitos dos herbicidas residuais em culturas sucessoras

Quando são utilizados herbicidas com longo período residual, sendo maior que o período necessário para a cultura de interesse, poderá causar injúria na cultura em sucessão, devido a atividade biológica da molécula ou de um de seus metabólitos no solo, causando o fenômeno denominado *carryover* (ALONSO et al., 2013).

A persistência dos herbicidas no solo é sempre maior que o *carryover*, pois esses produtos podem persistir sem causar efeito tóxico para as plantas, podendo o herbicida estar na

forma de resíduo ligado, sorvido ou transformado em metabólitos, entre outros. Esse fenômeno, depende das propriedades físico-químicas dos herbicidas, das propriedades do solo, da interação com o solo e mudanças estruturais da molécula as quais irão determinar sua degradabilidade (LAVORENTI, 2003). Os solos diferem entre si nas atividades metabólicas microbianas, sendo estas afetadas pela estrutura e composição, dentre outras características (SABATÉ et al., 2004). A biodegradação de um complexo de moléculas normalmente envolve o efeito em conjunto das comunidades de microrganismos presente no solo, e conta com a versatilidade metabólica de bactérias e fungos (SILVA; FAY, 2004). A dissipação dos herbicidas também é favorecida em áreas onde os mesmos ingredientes ativos foram aplicados sucessivas vezes. De acordo com Rouchaud et al. (2000), os quais avaliaram áreas com histórico do herbicida diuron, revelou sua dissipação e encontraram a meia vida de 37 dias. No entanto, quando comparam os resultados com os obtidos de área onde o herbicida foi aplicado pela primeira vez, observaram meia vida de 81 dias. Dessa forma, esse resultado foi atribuído pela adaptação da comunidade microbiana do solo, favorecendo assim a menor meia-vida do diuron devido a biodegradação.

Quaisquer eventos que afetam o desaparecimento ou a quebra das moléculas dos herbicidas, como a fotólise, degradação química e biológica, também afeta a persistência desses compostos no solo. Os herbicidas variam em seus potenciais para persistirem no solo. Os grupos químicos de herbicidas que têm compostos persistentes incluem triazinas, uracilas, feniluréias, sulfonilureias, dinitroanilinas, isoxazolidinonas, imidazolinonas e certos reguladores de crescimento de plantas pertencentes ao grupo da piridina (CURRAN, 2001).

Diversos trabalhos foram publicados, demonstrando os efeitos destes resíduos no solo após a implantação em sucessão à soja, nas culturas do milho (ULBRICH et al., 2005; ARTUZI e CONTIERO, 2006), sorgo (DAN et al., 2010) e feijão (SILVA et al., 2013; MARCUSSI, 2020).

A complexidade da dinâmica dos herbicidas no solo devido aos diversos processos de perdas e imobilização, desde a aplicação na cultura chave e posterior implantação da cultura sucessora, irá determinar o sucesso na colheita da cultura em sucessão. E por esse motivo, estes processos desempenham relevância quando analisamos a questão da contaminação ambiental, devido ao intenso uso de defensivos na cultura da soja e a ampla área cultivada no Brasil.

2.7. Herbicidas inibidores de protoporfirinogênio oxidase

Os herbicidas Inibidores de Protoporfirinogênio Oxidase (PROTOX ou PPO), compõem diferentes grupos químicos, como os triazolinonas (carfentrazone e sulfentrazone), oxadiazoles (oxadiazon), difeniléteres (acifluorfen, lactofen e oxyfluorfen) e feniltalimida (flumioxazin e flumiclorac) (MEROTTO JÚNIOR; VIDAL, 2001).

A PROTOX é uma enzima presente nos cloroplastos das plantas que oxida protoporfirinogênio para produzir protoporfirina IX, precursor da clorofila e de grupamentos heme que são necessários para a transferência de elétrons. Esse mecanismo de ação envolve na inibição da rota metabólica da PROTOX, ou seja, síntese de porfirinas e tetrapirroles, responsável na conversão do protoporfirinogênio IX em protoporfirina IX pela aromatização oxidativa (CARVALHO; GONÇALVES NETTO, 2016). No citoplasma, a protoporfirina IX atua como um composto fotodinâmico e interage com oxigênio na presença de luz, levando-o ao estado singleto. Esse oxigênio no estado singleto é responsável pela peroxidação de lipídeos nas membranas celulares. Lipídeos e proteínas são atacados e oxidados, resultando em perda de clorofila, rompimento das membranas e morte celular (VIDAL, 1997; OLIVEIRA JUNIOR; CONSTANTIN, 2001; CARVALHO; GONÇALVES NETTO, 2016).

Os herbicidas pertencentes ao mecanismo de ação inibidores da PROTOX têm como característica amplo espectro de controle de plantas daninhas, sendo que o herbicida sulfentrazone apresenta eficácia em espécies dicotiledôneas e algumas monocotiledôneas, com aplicação em pré e pós-emergência. Os sintomas gerados por herbicidas deste mecanismo de ação são: dessecação e necrose dos tecidos vegetais. Os sintomas iniciam rapidamente, após uma hora da exposição da planta em pós-emergência ao herbicida e à luz solar, e em até dois dias ocorre a dessecação (MEROTTO JÚNIOR; VIDAL, 2001).

A aplicação em pré-emergência desse grupo de ingredientes ativos condiciona a morte da planta devido o contato com a camada de solo tratada (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011). Espécies consideradas tolerantes aos inibidores de PROTOX, apresentam como sintomas o bronzeamento e clorose das estruturas com aplicação, com evolução a clorose foliar e recuperação da planta (ROSS; LEMBI, 1999). A metabolização dos difeniléteres é o mecanismo mais importante na tolerância de plantas cultivadas. Em plantas de soja, ocorre o rompimento da ligação éter entre os grupos fenil, produzindo metabólitos sem atividade herbicida (VIDAL, 1997).

Dentre os herbicidas com longo efeito residual no solo desse mecanismo de ação,

destaca-se o sulfentrazone. O sulfentrazone [N-[2,4-dicloro-5-[4-(difluorometil)-4,5-dihidro-3-metil-5-oxo-1H-1,2,4-triazol-1-il]fenil] metanosulfonamida] é recomendado para aplicação em pré-emergência da cana-de-açúcar, soja, café, eucalipto, citros, fumo e abacaxi (AGROFIT, 2021). Apresenta como características físico-químicas: alta solubilidade em água (780 mg L⁻¹ a pH 7,0), baixa pressão de vapor (1 x 10⁻⁹ mmHg a 25 °C), baixa sorção (K_{oc}=43), constante de dissociação (pKa) 6,56 e coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}=9,79 a pH 7) (SHANER, 2014), tendo como principal via de degradação no solo a microbiana (MARTINEZ et al., 2008).

Em solos com altos teores de matéria orgânica, a eficácia tende a ser reduzida, indicando menor quantidade do herbicida e conseqüentemente menor movimentação no solo (SZMIGIELSKI et al. 2012). A degradação do sulfentrazone está relacionada com a precipitação, proporcionando melhores condições de biodisponibilidade, e conseqüentemente lixiviação em profundidade no solo (OHMES, 2000).

A meia vida do sulfentrazone no solo foi reportado em experimentos de campo e de laboratório variando entre 24 e 302 dias (MARTINEZ et al., 2008; BRUM et al., 2013). Possui meia vida no solo estimada entre 110 e 280 dias, podendo variar de acordo com as condições edafoclimáticas locais (GREY et al. 2000).

A sorção e dessorção do sulfentrazone foram estudadas em dez solos brasileiros com diferentes características físico-químicas e texturais por meio de cromatografia líquida de alta eficiência e bioensaio (FREITAS et al., 2014; MADALÃO, 2014). Em todos os solos foi verificado menor potencial de sorção e dessorção do herbicida, sendo que a sorção nestas pesquisas foi maiores em solos com teores de matéria orgânica e argila elevados. Vivian et al. (2006) estudando sulfentrazone em Argissolo Vermelho-Amarelo relataram que a maioria dos resíduos detectados em Argissolo Vermelho-Amarelo encontra-se na profundidade de 0-10 cm, sendo baixo o potencial de lixiviação em solos argilosos. Esses autores encontraram elevada persistência do sulfentrazone nesse solo, com efeito negativo sobre sua microbiota.

Nos últimos anos, esse herbicida vem sendo muito utilizado no Brasil nas culturas da cana-de-açúcar, soja e em áreas de reflorestamento (MELO et al., 2010; BLANCO et al., 2010). A persistência do sulfentrazone aplicado em solo com 46% de argila cultivado com soja foi determinada em 376 dias após a aplicação (DAA) quando aplicado na dose de 600 g i.a ha⁻¹, e quando aplicado na dose de 1200 g i.a. ha⁻¹, a persistência foi superior a 539 DAA (BLANCO; VELINI, 2005).

Em áreas de plantio direto, a palha poderá reduzir a eficiência dos herbicidas, impedindo

sua chegada ao solo através de retenção, expondo-o a condições favoráveis a degradação e volatilização (CARBONARI et al., 2008). Cavenaghi et al. (2002) analisando o efeito de várias quantidades de chuva, um dia após a aplicação de sulfentrazone, sobre 6 t ha⁻¹ de palha de aveia, relataram que a transposição do sulfentrazone chegou a 94%, para a quantidade de chuva simulada de 65 mm.

Além de persistente, o sulfentrazone apresenta mobilidade no solo e potencial de lixiviação (PPDB, 2022). Tais características fazem com que este herbicida seja bastante estudado pela comunidade científica, devido as poucas informações, sobre o efeito do sulfentrazone em plantas cultivadas em sucessão à soja, no melhor entendimento do período a ser respeitado após a aplicação em relação a época correta para a realização do plantio seguro das culturas de milho, feijão e sorgo.

2.8. Herbicidas inibidores de fotossistema II

Os herbicidas inibidores de Fotossistema II são representados por diferentes grupos, como as ureias substituídas (diuron, linuron, tebuthiuron), uracilas (bromacil), triazinas (atrazina, ametrina, cyanazine, prometryn, simazine) e nitrilas (ioxynil) (VIDAL; FLECK, 2001).

Os herbicidas dos grupos químicos das triazinas, ureias e uracilas são agentes de ligação competitivos com a plastoquinona Q_b e na proteína D1, o que condiciona o deslocamento de Q_b, interrompendo a transferência de elétrons do FSII para o complexo Cyt b/f (VIDAL; FLECK, 2001). As plantas não são afetadas até emergirem e começarem a fazer a fotossíntese. Como o herbicida obstrui a ligação, o processo de transferência fotossintética de elétrons é afetado (MARKWELL et al., 2006).

A interrupção do fluxo de elétrons impede a formação de dediidronicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato (NADPH), adenosina trifosfato (ATP), além da interferência no ciclo de redução de carbono. Desta forma, a absorção e transferência de energia no local de ação do herbicida permanecem, o que condiciona a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) (GEMELLI et al., 2016). Como o fluxo de elétrons fica interrompido, as moléculas de clorofila ficam com carga energética acentuada, sendo denominadas clorofilas “tripletto”, que irá iniciar a peroxidação de lipídeos através da formação direta de radicais lipídicos em ácidos graxos insaturados. As plantas morrem devido a peroxidação dos lipídeos nas membranas (BAKER, 2008; PEREZ-JONES et al., 2009; GEMELLI et al., 2016).

O diuron é um herbicida não ionizável, o que lhe confere características hidrofóbicas havendo assim relação positiva entre teores de carbono orgânico no solo e a sorção deste herbicida. Apresenta como principal característica o baixo potencial de lixiviação devido a baixa solubilidade em água 35,6 (20 °C) a 42 (25 °C) mg L⁻¹; moderado K_{ow} (2,85 a 2,87), e elevado coeficiente de adsorção para carbono orgânico (K_{oc}) que pode variar de 161 a 1666 mL g⁻¹, apresentando forte adsorção à fração argila e orgânica do solo com meia vida de 90 dias (LIU et al., 2010, SHANER, 2014) (Tabela 1).

O diuron é absorvido principalmente pelas raízes, possui ação sistêmica e tem metabolismo diferencial via N-demetilação. Os sintomas, de fitotoxicidade aparecem inicialmente nas folhas, que ficam com tonalidade verde claro, tornando-se finalmente necróticas (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018).

2.9. Herbicidas Inibidores da Acetolactato Sintase (ALS)

Os herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS) apresentam como mecanismo de ação a inibição da síntese dos aminoácidos alifáticos de cadeia lateral: valina, leucina e isoleucina (TREZZI; VIDAL, 2001). A via biossintética desses três aminoácidos apresenta em comum o uso de uma enzima chamada ALS, que participa na fase inicial do processo metabólico, catalisando uma reação de condensação (CHRISTOFFOLETI et al., 2001). Essa reação de condensação consiste na fusão de duas moléculas de piruvato, gerando o acetolactato ou na condensação de uma molécula de piruvato com uma molécula de 2-cetobutirato, formando 2-aceto-2-hidroxi-butirato, como o primeiro passo da biossíntese do aminoácido isoleucina.

O herbicida diclosulam (N-(2,6-diclorofenil)-5-ethoxi-7-fluoro(1,2,4) triazol - [1,5-c] pirimidina-2-sulfonamida), é recomendado principalmente para o controle de plantas daninhas dicotiledôneas na cultura da soja e pertencente ao grupo químico das triazolpirimidinas sulfonilidas (KLESCHICK et al., 1990). A recomendação de aplicação é em pré-emergência da cultura e das plantas daninhas de maneira que esse ingrediente ativo é absorvido pelas raízes e folhas e transloca-se via xilema e floema até as regiões meristemáticas nas quais atua inibindo a enzima ALS, a qual é vinculada à síntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina (GERWICK et al., 1990; KLESCHICK et al., 1990).

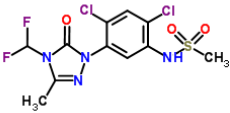
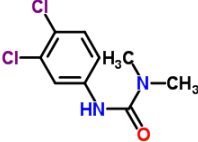
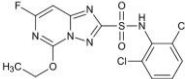
Tem como característica físico-química um pKa de 4,09 a 20 °C e comporta-se como ácido fraco em grande parte dos solos agricultáveis (YODER, 1996). Com potencial para

movimento vertical no perfil do solo a solubilidade do diclosulam em água é de $6,3 \text{ mg L}^{-1}$ em pH 5 a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (PPDB, 2022).

Em relação a sua persistência no solo, o diclosulam apresenta uma meia vida entre 16 a 54 dias (YODER et al., 2000). Por outro lado, Lavorenti et al. (2003) analisaram que a persistência desse herbicida pode variar de acordo com o sistema de cultivo, sendo maior para o sistema convencional com meia vida de 87 dias quando comparado ao sistema de plantio direto com meia vida de 67 dias. A metabolização ocorre pelos processos de degradação microbiana, fotólise e hidrólise (ZABIK et al., 2001). Com pressão de vapor de $6,67 \times 10^{-10} \text{ mPa}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ sua perda por volatilização é baixa (PPDB, 2022).

Os herbicidas inibidores da enzima Aceto Lactato Sintase (ALS) apresentam seletividade através da conversão acelerada para compostos inativos. Os principais produtos resultantes do metabolismo de moléculas tóxicas nas plantas são advindos de processos como oxidação, redução, hidrólise, desalquilação e conjugação (HATHWAY, 1988).

Tabela 1. Fórmula estrutural e propriedades físico-químicas dos herbicidas

	Sulfentrazone	Diuron	Diclosulam
Fórmula estrutural			
Fórmula molecular	$C_{11}H_{10}Cl_2F_2N_4O_3S$	$C_9H_{10}Cl_2N_2O$	$C_{13}H_{10}Cl_2FN_5O_3S$
Grupo químico	triazolinona	fenilureia	triazolopirimidinas
IUPAC nomenclatura	N-[2,4-dichloro-5-[4-(difluoromethyl)-3-methyl-5-oxo-1,2,4-triazol-1-yl]phenyl]methane sulfonamide	N'-(3,4-dichlorophenyl)-N,N-dimethylurea	(N-[2,6-diclorofenil]-5-etoxi-7-fluoro(1,2,4)triazolo-[1,5c]-pirimidina-2-sulfonamida)
Peso molecular (g mol ⁻¹)	387,19	233,1	406,22
Densidade (g ml ⁻¹ a 25° C)	0,53	1,48	1,6 a 20°C
Solubilidade em água a 25°C (mg L ⁻¹)	780	42	6,3
Log Kow	0,99	2,77	1,42
GUS Índice de potencial de lixiviação	6,16	1,83	2,66
Koc (mL g ⁻¹)	302	480	90
pKa a 25°C	6,56 (ácido fraco)	(não-ionizável)	4,0 (ácido fraco)
Pressão de vapor a 20°C (mPa)	$1,13 \times 10^{-4}$ (baixa volatilidade)	$1,15 \times 10^{-3}$ (baixa volatilidade)	$6,67 \times 10^{-10}$ (baixa volatilidade)
meia vida (dias)	180	90	49

Fonte: adaptado de Shaner (2014); PPDB (2022).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1.1 Experimento no campo

O experimento foi desenvolvido em condições de campo durante os meses de outubro de 2018 a julho de 2019. Foram selecionadas duas áreas, sendo uma com solo de textura argilosa e outra arenosa. O experimento em solo argiloso foi instalado no município de Iracemápolis, São Paulo (22° 39' 40,27" S, 47° 31' 34,30" O), em área de pousio sem aplicação de defensivos desde fevereiro de 2015. De acordo com os dados climáticos a pluviosidade acumulada foi de 989,6 mm (Tabela 3). A classificação climática de Kopen é Cwa com clima temperado úmido, com inverno seco e verão quente (ALVARES et al., 2013).

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (SANTOS et al., 2013), de textura argilosa. As análises químicas e físicas do solo são apresentadas em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) de acordo com o trabalho realizado (Tabela 2).

Tabela 2 - Análises química e física do solo da área do experimento em diferentes profundidades. Iracemápolis - SP, 2019

profundidade	P	K	Ca	Mg	pH	MO ¹	H+Al	SB ²	CTC ³	V ⁴
cm	mg dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³			g dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³		%
0-10	31	7,66	66,3	37,4	5,3	25	12	111,3	123,3	90,2
10-20	52	3,31	64,3	39,4	5,0	20	16	107,1	123,1	87
	areia		silte		argila		textura			
	g kg ⁻¹									
0-10	179		254		567		argiloso			
10-20	203		237		560					

pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, P extraído em resina. ¹MO - matéria orgânica, ²SB - soma de bases, ³CTC - capacidade de troca de cátions, ⁴V - saturação por bases.

Tabela 3. Dados da precipitação (mm) de Iracemápolis-SP durante todo o período de condução do experimento (*) e datas das aplicações assinaladas com “X”.

Dias	2018			2019						
	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
1	-	-	41,9	1,8	-	4,3	-	-	-	-
2	-	-	0,3	13,5	-	1,8	-	-	5,3	-
3	-	13,7	-	22,1	-	18,8	-	-	5,3	7,0
4	-	-	-	2,0	-	-	-	-	-	40,1
5	-	-	-	6,4	-	1,5	36,1	-	-	2,8
6	-	-	-	0,3	23,1	2,3	27,4	5,4	-	-
7	-	-	-	37,3	-	7,0	43,7	-	-	-
8	-	3,6	-	5,3	-	1,8	24,0	-	-	-
9	-	-	-	22,4	-	-	-	-	15	-
10	-	0,3	-	4,6	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	2,5	2,8	-	-	7,4	-	-
12	-	-	-	1,0	34,8	12,8	-	-	-	-
13	-	-	0,3	-	1,8	4,6	6,1	-	-	-
14	-	44,5	0,3	-	-	2,0	5,3	0,2	-	-
15	-	-	4,3	0,5	10,2	0,3	-	-	-	1,2
16	-	-	-	0,8	11,9	5,6	2,8	-	-	-
17	-	-	-	0,8	0,8	-	0,2	20,6	-	-
18	-	37,9	0,5	0,3	-	-	-	18,3	-	-
19	-	18,3	8,4	-	-	6,9	-	-	-	-
20	-	-	-	-	10,4	3,7	-	-	-	-
21	-	0,3	-	-	0,8	-	-	-	-	-
22	-	1,8	11,4	22,1	1,5	-	1,6	-	20	-
23	-	6,1	24,1	0,5	4,6	-	0,2	-	-	-
24	-	34,3	-	0,5	5,6	-	3,0	-	-	-
25	-	35,3	-	0,3	-	-	-	0,3	-	-
26	-	-	1,0	-	X	-	-	-	-	-
27	-	-	-	X	33,5	-	-	-	-	-
28	-	X	X	-	20,3	-	12,0	3,0	-	-
29	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	5,6	-	-	-	-	-	-	-	0,2
31	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	1,0	201,4	92,5	144,8	162,0	73,4	162,4	55,2	45,6	51,3

*Dados fornecidos pela Plantec, Iracemápolis/SP

O segundo experimento foi instalado no município de Botucatu, São Paulo (22° 52' 02,43" S, 48° 29' 20,64" O) em área cultivada anteriormente por pastagem, sem aplicação de herbicidas, sendo o solo caracterizado como arenoso. A classificação climática de Kopen é Cwa com clima temperado úmido, com inverno seco e verão quente (ALVARES et al., 2013).

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (SANTOS et al., 2013), de textura arenosa. As análises químicas e físicas do solo são apresentadas em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) de acordo com o trabalho realizado (Tabela 4).

Tabela 4 - Análises química e física do solo da área do experimento em diferentes profundidades. Botucatu - SP, 2019.

profundidade	P	K	Ca	Mg	pH	MO ¹	H+Al	SB ²	CTC ³	V ⁴
cm	mg dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³			g dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³		%
0-10	15	1,5	1,76	1,05	5,2	12	30	4,35	34,3	12,6
10-20	11	1,3	1,98	1,2	5,1	11	25	4,52	29,5	15,3
	areia		silte		argila		textura			
	g kg ⁻¹									
0-10	852		48		100		arenosa			
10-20	858		59		83					

pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, P extraído em resina. ¹MO - matéria orgânica, ²SB - soma de bases, ³CTC - capacidade de troca de cátions, ⁴V - saturação por bases.

Tabela 5. Dados da precipitação (mm) de Botucatu-SP durante todo o período de condução do experimento (*) e datas das aplicações assinaladas com "X".

Dias	2018			2019						
	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
1	-	-	14,0	0,2	-	11,2	-	-	9,5	-
2	-	-	-	2,5	-	6,0	-	-	25,0	-
3	-	2,5	-	23,0	12,0	14,7	-	-	-	25,0
4	-	-	-	38,0	0,0	17,0	-	-	-	55,0
5	-	-	-	2,5	0,0	-	-	-	-	41,0
6	-	-	-	5,0	9,5	-	45,4	2,4	-	-
7	-	-	-	-	-	19,7	20,0	2,6	-	-
8	-	-	-	-	-	-	17,5	2,4	-	-
9	-	2,0	-	5,0	-	2,5	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	2,3	-	-
11	-	-	-	-	14,2	-	-	-	-	-
12	-	-	-	38,0	30,0	4,5	-	6,5	-	-
13	-	-	-	-	-	20,3	3,5	-	-	-
14	-	-	-	2,2	-	26,2	4,5	-	-	-
15	-	-	0,5	-	32,7	30,4	-	-	-	2,2
16	-	-	20,0	45,4	4,5	23,7	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	6,2	-	-
18	-	63,0	-	-	-	1,2	-	-	-	-
19	-	16,2	-	4,7	-	-	-	-	-	-
20	-	1,7	10,0	-	-	16,0	-	-	-	-
21	-	-	-	-	2,2	-	-	-	-	-
22	-	-	31,0	-	-	-	2,4	-	-	-
23	-	26,4	25,0	-	10,0	-	-	2,5	-	-
24	-	58,0	2,0	2,0	26,5	-	-	-	-	-
25	-	4,0	-	12,0	34,0	-	2,3	-	-	-
26	-	-	-	-	45,6	-	1,0	-	-	-
27	-	-	-	-	X	-	-	-	2,0	-
28	-	-	2,2	X	15,2	-	15,5	2,2	-	-
29	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-
30	X	29,4	5,0	-	-	-	-	-	-	5,0
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	0	203,2	109,7	180,5	236,4	193,4	112,1	27,1	36,5	128,2

*Dados fornecidos pela Techfield, Botucatu/SP

3.1.2 Aplicação e plantio

Os solos foram previamente preparados com gradagem intermediária de até 0,2 m de profundidade, em sistema convencional sem palha, sendo a área mantida sem cultura durante todo o período de intervalo de aplicação do herbicida. Durante esse período, foram realizadas aplicações do herbicida glyphosate (1080 g e. a. ha⁻¹) para o controle dos fluxos de emergência de plantas daninhas.

A primeira etapa do estudo correspondeu entre a aplicação dos herbicidas com atividade residual (tratamentos), que foi iniciada na área em Iracemápolis-SP em 29 de outubro de 2018, e no dia 30 de outubro de 2018 em Botucatu-SP. A aplicação foi feita com um pulverizador costal pressurizado com CO₂, equipado com barra contendo seis pontas de pulverização do tipo leque TTI110.02, espaçadas 0,5 m entre si e posicionadas a 0,5 m da superfície do solo e volume de aplicação de 200 L ha⁻¹, e no momento da semeadura das culturas milho, sorgo e feijão. No total foram realizadas 5 aplicações, distribuídas nos períodos de 120, 90, 60, 30 e 0 dias anteriores ao plantio.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos herbicidas utilizados foram: sulfentrazone e diuron, em mistura comercial (Stone) na dose máxima recomendada em bula de 1,4 L ha⁻¹ de 245 g i.a. ha⁻¹ + 490 g i.a. ha⁻¹ e o dobro da dose recomendada em bula de 2,8 L ha⁻¹ de 490 g i.a. ha⁻¹ + 980 g i.a. ha⁻¹ respectivamente. Além do herbicida diclosulam com a formulação comercial (Spider 840 WG) na dose máxima recomendada em bula de 41,7 g ha⁻¹ de 35 g i.a. ha⁻¹ e uma testemunha (sem aplicação de herbicida) que foi capinada durante a condução do experimento.

A semeadura do milho, sorgo e feijão foi realizada de forma mecanizada, no dia 26 de fevereiro de 2019 em Iracemápolis-SP e no dia 27 de fevereiro de 2019 em Botucatu-SP. O espaçamento adotado entre linhas foi de 0,5 m e a adubação de plantio composta de 400 kg ha⁻¹ de N-P-K da fórmula 08-28-16, no sulco de semeadura. Os tratos culturais foram realizados conforme a necessidade da cultura, sendo o controle de pragas realizado com a aplicação do inseticida tiametoxam + lambda-cialotrina (21,2 + 15,9 g i.a. ha⁻¹). O controle de doenças foi realizado com a aplicação do fungicida fluxapiróxade em mistura com piraclostrobina (50 + 100 g i.a. ha⁻¹), enquanto o manejo das plantas daninhas foi realizado por meio de capina manual. A adubação de cobertura nas plantas de feijão foi realizada no 28º dia após a emergência com 70 g ha⁻¹ de molibdato de amônio via foliar. Para as plantas de sorgo e milho foi utilizando 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio na forma de ureia (45% de nitrogênio), aplicados na base

das plantas.

Foi utilizada a cultivar IAC Imperador de feijão, de ciclo precoce. A cultivar é recomendada para a semeadura em São Paulo, para as três épocas de cultivo (águas, seca e inverno). As sementes receberam tratamento com carboxina+tiran (Vitavax-Thiram 200 SC) na dose de 0,30 L 100 kg semente⁻¹. E a densidade de semeadura foi de 10 sementes por metro linear, totalizando aproximadamente 220 mil plantas ha⁻¹.

Na semeadura do milho foi utilizado o híbrido de milho Dekalb 290 PRO 3, de ciclo precoce, que possui adaptação para plantio na safrinha, com alta produção de biomassa foliar, baixa incidência de grãos ardidos e alta produtividade. A densidade utilizada para o híbrido de milho foi de 75 mil plantas ha⁻¹.

Para a cultura do sorgo foi utilizado o híbrido BM 737, de ciclo precoce, que possui adaptação para plantio na safrinha, com boa produção de silagem de grão úmido e alta produtividade, com uma população estimada de 160 mil plantas ha⁻¹.

As parcelas foram constituídas por três linhas de semeadura de milho, feijão e de sorgo no espaçamento de 0,5 m entre linhas e 5,0 m de comprimento. A área útil da parcela constituiu-se de 18 m², sendo consideradas apenas as duas linhas centrais e desconsiderando-se 0,5 m de cada extremidade da parcela.

3.1.3 Avaliações

As coletas de solo foram realizadas no momento do plantio das culturas totalizando 120 dias após a primeira aplicação. As coletas eram realizadas alternadamente na região central da parcela, com um auxílio de um trado tipo holandês. Retirava-se de cada parcela duas amostras de cada profundidade, totalizando uma amostra composta na profundidade de 0 a 10 cm e outra de 10 a 20 cm. As amostras foram levadas para o laboratório, acondicionadas em sacos plásticos de aproximadamente 300 g e armazenadas em freezer a -20 °C para posterior análise cromatográfica.

As avaliações de fitotoxicidade foram realizadas aos 7, 15 e 28 dias após a semeadura (DAS), por meio de notas visuais de 0 a 100%, onde 0 (zero) representou a ausência de injúrias e 100% (cem) a morte das plantas, de acordo com a escala adaptada da SBCPD (Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas – SBCPD, 1995), (Tabela 6).

Tabela 6. Escala de notas utilizada para avaliação visual de fitotoxicidade de herbicidas com atividade residual aplicados em diferentes períodos sobre as culturas do milho, sorgo e feijão. Adaptada de SBCPD (1995)

Conceito	Nota (%)	Observação
Muito leve	0 - 5	Sintomas fracos ou pouco evidentes. Nota zero quando não se observam quaisquer alterações na cultura.
Leve	6 - 10	Sintomas nítidos de baixa intensidade.
Moderada	11 - 20	Sintomas nítidos mais intensos que na classe anterior.
Aceitável	21 - 35	Sintomas pronunciados, porém, totalmente tolerados pela cultura.
Preocupante	36 - 45	Sintomas mais drásticos que na categoria anterior, mas ainda passíveis de recuperação, e sem expectativas de redução no rendimento econômico.
Alta	46 - 60	Danos irreversíveis com previsão de redução no rendimento econômico.
Muito alta	61 - 100	Danos irreversíveis muito severos com previsão de redução drástica no rendimento econômico. Nota 100 para morte de toda a planta.

Na colheita, foram colhidas todas as espigas de milho e panículas de sorgo presentes nas 2 linhas centrais na área útil da parcela, contendo 3 metros em cada linha (totalizando 6,0 m lineares). Em seguida, todas as espigas e panículas foram debulhadas utilizando-se um debulhador manual e depois os grãos foram peneirados utilizando-se uma peneira manual para retirada de impurezas.

As plantas de feijão foram colhidas quando atingiram a maturação fisiológica, aos 108 dias após o plantio na área arenosa e 115 dias na área argilosa. Foram retiradas todas as plantas de feijão nas duas linhas centrais de cada parcela (totalizando 6,0 metros), e em seguida foram deixadas ao sol para que o grão reduzisse o teor de umidade para facilitar a debulha e posterior armazenamento.

Por fim, a produtividade foi estimada em kg ha^{-1} , de cada parcela, do total de grãos colhidos. A estimativa da umidade da produtividade foi realizada conforme as Regras para Análise de Sementes (MAPA, 2009) e ajustada para 13% de umidade.

3.2.1 Laboratório

As análises laboratoriais para quantificação das moléculas de herbicidas nos solos coletados no experimento de campo foram realizadas no laboratório do Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM) da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, campus de Botucatu.

3.2.2 Extração

Para extrair os herbicidas disponíveis na solução do solo, as amostras foram descongeladas e secas a 40 °C. Depois que as amostras foram homogeneizadas, uma subamostra de 7 g de solo seco foi retirada e colocada em um cartucho plástico de 10 ml contendo polietileno poroso. Cada cartucho contendo o solo foi saturado com 2,5 ml de solução de água destilada e refrigerada (8 ± 3 °C) por 24 horas. A água foi usada para remover os herbicidas sulfentrazone, diuron e diclosulam disponíveis na solução do solo. Os cartuchos foram então centrifugados (Centrífuga Hettich Zentrifugen, Tuttlingen, Germany) em 3,270 x g por 10 min a 25 °C (CARBONARI, 2009). O extrato solo-água foi filtrado com seringas plásticas de 3,0 ml com filtros de membrana Millex (Millipore PVDF 13 mm x 0,45 µm, Merck Millipore, Tullagreen, Carrigtohill, County Cork, Irlanda). A solução filtrada foi transferida para frascos de vidro de 2,0 ml (CASTRO MACEDO et al., 2020).

3.2.3 Parâmetros do LC/MS/MS

As análises foram realizadas utilizando o sistema LC-MS/MS, composto por um cromatógrafo líquido de alta eficiência (Proeminence UFLC, Shimadzu Corporation), acoplado a um espectrômetro de massas (4500, Triple Quad, AB Sciex) híbrido triplo quadrupolo. A utilização desse sistema possibilita o controle do íon molecular e de transições iônicas provenientes da fragmentação, garantindo a sensibilidade e a especificidade necessárias para a quantificação dos analíticos, em concentrações, por vezes vestigiais, presentes em matrizes de elevada complexidade.

As condições cromatográficas para a quantificação dos compostos foram desenvolvidas para cada modo de ionização (Tabela 7). Optou-se pelo modo de ionização da fonte (eletrospray – ESI), que possibilita a detecção e a divisão dos compostos em uma única corrida para os modos positivos e negativos. Em cada composto foi determinada a curva analítica, o limite de detecção e quantificação, a linearidade, a precisão e a exatidão (RIBANI et al., 2004; LANÇAS, 2004).

Tabela 7. Condições cromatográficas utilizadas para a quantificação dos compostos na coluna analítica C18 Synergi 2,5 μ Hydro RP 100 Å.

Tempo (min)	fluxo (mL min ⁻¹)	fase móvel A (%) ¹	fase móvel B (%) ²	temperatura do forno (°C)	volume de injeção (μ L)
0-1	0,6	50	50	40	20
1-3	0,6	5	95	40	20
3-6	0,6	5	95	40	20
6-8	0,6	50	50	40	20
8-10	0,6	50	50	40	20

¹Fase móvel A – 0,5% ácido acético em água, ²Fase móvel B - 0,5% ácido acético em metanol.

O tempo de corrida para o sulfentrazone e diuron foi de 10 minutos, com retenção na coluna cromatográfica de 3,34 e 3,71 minutos; curva analítica $y = -17,5 x^2 + 1,55e + 004 x + 998$ e $y = -6,36 x^2 + 5,4e + 003x + 2,47e + 003$; e coeficiente de determinação $R^2 = 0,9993$ e $0,9989$ respectivamente. Nas figuras 1 e 2 estão apresentados, respectivamente, os cromatogramas do sulfentrazone e diuron.

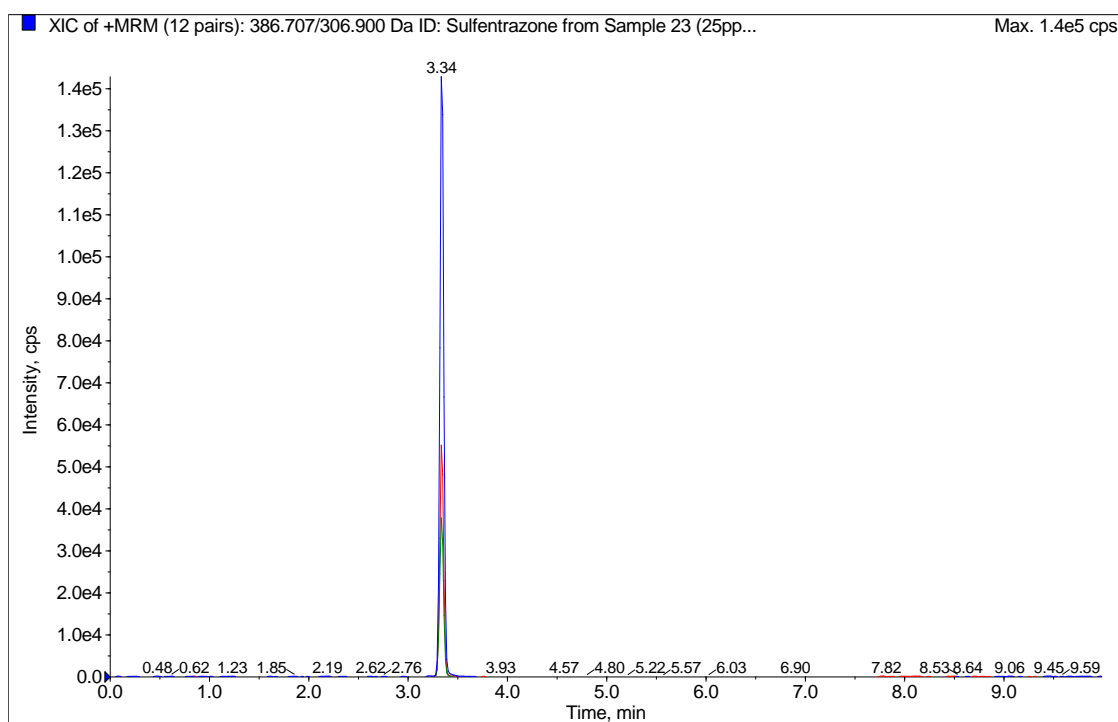


Figura 1. Cromatograma do herbicida sulfentrazone com os respectivos fragmentos na concentração de 25 ng mL⁻¹.

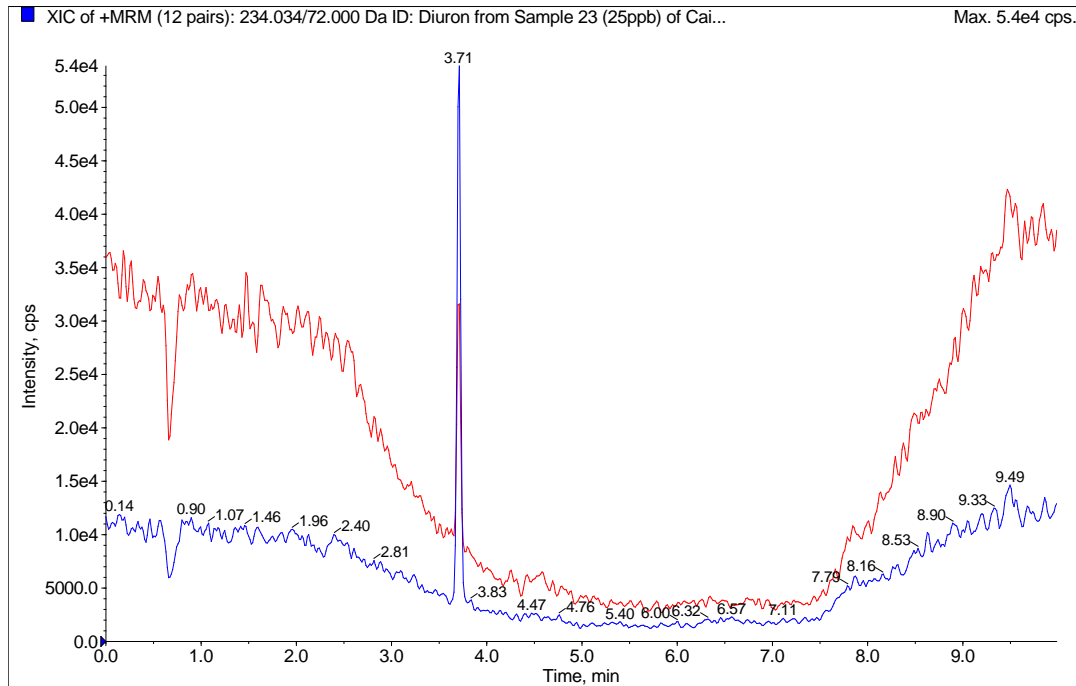


Figura 2. Cromatograma do herbicida diuron com os respectivos fragmentos na concentração de 25 ng mL⁻¹.

O tempo de corrida para o diclosulam foi de 10 minutos, com retenção na coluna cromatográfica de 3,45 minutos; curva analítica $y = -173 x^2 + 1,12e + 005 x + 2,65e + 003$; e coeficiente de determinação $R^2 = 0,999$. A figura 3 representa o cromatograma do padrão analítico do herbicida diclosulam.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste t ($p \leq 0,05$) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

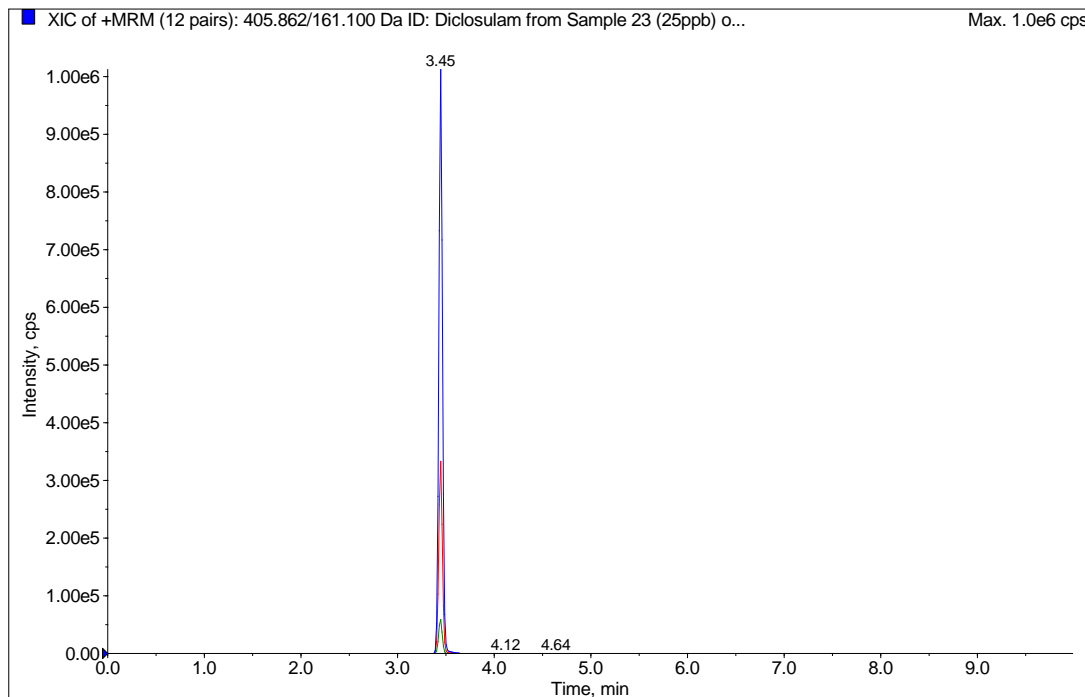


Figura 3. Cromatograma do herbicida diclosulam com os respectivos fragmentos na concentração de 25 ng mL⁻¹.

3.3 Correlação entre as concentrações do sulfentrazone, diuron e diclosulam no solo e os níveis de fitotoxicidade nas culturas semeadas.

Após a determinação das concentrações de diuron, sulfentrazone e diclosulam no solo, foi realizado um estudo confrontando-se os resultados dessas concentrações e as porcentagens de fitotoxicidade das plantas cultivadas de milho, feijão e sorgo, conforme resultados obtidos nas mesmas áreas das coletas de solo. Estes resultados de fitotoxicidade permitiram determinar quais os níveis de concentração dos herbicidas no solo que permitem obter níveis seguros de plantio de cada uma das culturas avaliadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 Análises de resíduos de sulfentrazone

Nas análises de sulfentrazone no solo (ng g^{-1} de solo) nas diferentes concentrações, verificou-se que na camada superficial (0-10 cm) para o solo coletado no dia do plantio (0 DAP), foi detectado o herbicida em maior concentração para ambas as doses, $245 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ ($85,86 \text{ ng g}^{-1}$) (Figura 4 a) e $490 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ ($151,0 \text{ ng g}^{-1}$) (Figura 4 b) em solo arenoso, e a mesma dinâmica foi observada em solo argiloso, nas doses de $245 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ ($20,71 \text{ ng g}^{-1}$) e $490 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ ($55,8 \text{ ng g}^{-1}$), respectivamente. A aplicação em solo arenoso apresentou concentrações superiores, para a coleta do dia do plantio quando comparado ao solo argiloso, possivelmente devido ao processo de sorção que é considerado o fator primário que influencia a eficácia de herbicidas aplicados ao solo. O sulfentrazone possui K_{ow} de 63 e K_{oc} de 43 mg g^{-1} de solo (PPDB, 2022), desta maneira, pode-se supor que a maior fração detectada no ambiente arenoso, pode-se estar associada a fração carbônica do solo.

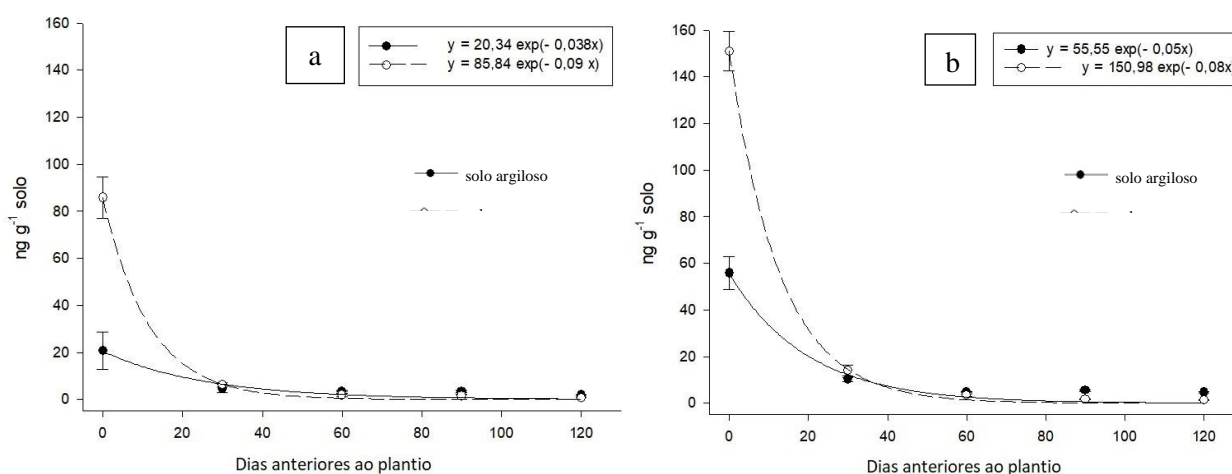


Figura 4. Concentrações de sulfentrazone no solo (ng g^{-1} de solo) na camada de 0-10 cm de profundidade, em solo arenoso e em solo argiloso para as diferentes épocas de aplicação, de acordo com cada dose aplicada $245 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ (a) e $490 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ (b). Botucatu/SP e Iracemápolis/SP– 2018/19.

Observa-se para as amostras coletadas na camada superficial aos 60 dias anteriores ao plantio, uma menor concentração de sulfentrazone para o solo arenoso (Figura 4 a), demonstrando que o produto foi lixiviado, devido à influência da ocorrência de chuvas. Em geral, solos com textura arenosa possuem maior macroporosidade do que os solos argilosos, característica que resulta em maiores taxas de percolação da água nesses solos e,

consequentemente, facilita a lixiviação dos herbicidas devido a sua maior dispersividade hidrodinâmica (CARTER, 2000).

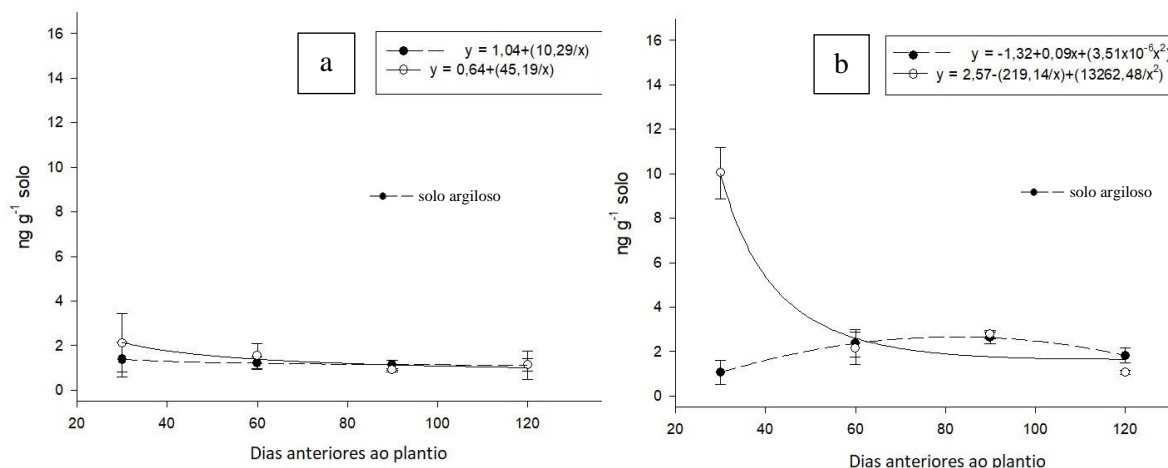


Figura 5. Concentrações de sulfentrazone no solo (ng g⁻¹ de solo) na camada de 10-20 cm de profundidade, em solo arenoso e em solo argiloso para as diferentes épocas de aplicação, de acordo com cada dose aplicada 245 g i.a. ha⁻¹ (a) e 490 g i.a. ha⁻¹ (b). Botucatu/SP e Iracemápolis/SP– 2018/19.

Para as amostras coletadas de 10 a 20 cm (Figura 5), observa-se maior concentração do herbicida sulfentrazone aos 30 dias anteriores ao plantio em solo arenoso quando comparado ao solo argiloso. Isto possivelmente deve estar associado a maior sorção do herbicida na camada superficial em solo argiloso, reduzindo sua concentração disponível na solução do solo e consequentemente sua menor lixiviação em profundidade no perfil do solo.

O experimento foi conduzido com grandes volumes de precipitação pluviométrica entre o momento da primeira aplicação e a data de coleta, com 601,7 mm para a área com solo argiloso (Tabela 3) e 714,6 mm para a área com solo arenoso (Tabela 5), o que justifica a maior concentração em profundidade analisada para o solo de Botucatu (solo arenoso), observado aos 90 dias anteriores ao plantio na dose de 490 g i.a. ha⁻¹ (Figura 5 b). Passos et al. (2013) relataram que a mobilidade do sulfentrazone ficou restrita à camada superficial (0-15 cm) do solo com maior conteúdo de argila (54% de argila) após a simulação de 60 mm de chuva, contudo, o herbicida foi distribuído até maiores profundidades no solo com baixo teor de argila (9% de argila) e matéria orgânica.

Melo et al. (2010) observaram comportamentos distintos do herbicida sulfentrazone em três solos com maior movimentação descendente do produto, na dose de 750 g i.a. ha⁻¹, onde o solo de textura franco-arenosa (14% de argila) foi observado o herbicida até 27,5 cm, seguido

pelos solos de textura argilosa com baixo teor de matéria orgânica (54% de argila e 4,43 dag kg⁻¹ M.O.) com 25 cm e pelo solo argiloso com alto teor de matéria orgânica (56% de argila e 9,0 dag kg⁻¹) 17,5 cm, respectivamente.

Segundo Brusseau & Rao (1989), a matéria orgânica no solo, possui sítios tridimensionais formando ligações de hidrogênio que promovem a adsorção de compostos iônicos e não iônicos aos colóides orgânicos, sendo um dos fatores mais importantes para os herbicidas com elevada capacidade de adsorção, como é o caso do sulfentrazone.

Estudos têm demonstrado que a dinâmica do sulfentrazone é dependente das características físicas e químicas do solo, principalmente do teor de matéria orgânica, pH e mineralogia (FREITAS et al., 2014; PASSOS et al., 2013). Essa relação pode ser observada na Figura 5, onde é possível observar que o sulfentrazone está mais sorvido no solo de textura argilosa (Tabela 2) aos 30 dias anteriores ao plantio na camada de 10 a 20 cm quando comparado ao solo de textura arenosa (Tabela 4).

O pH das áreas foram semelhantes, sendo o de textura arenosa com pH=5,2 e argilosa de pH=5,3. O sulfentrazone apresenta pKa de 6,56 e é considerado um ácido fraco, portanto em ambas as áreas o herbicida sulfentrazone permaneceu predominantemente na forma molecular, favorecendo a sorção do herbicida no solo. Gradativamente ao longo do tempo, para as amostras coletadas na camada superficial aos 30 até 120 dias (Figura 4 a) anteriores ao plantio apresentaram concentrações baixas de sulfentrazone, possivelmente devido a lixiviação do herbicida para maiores profundidades.

Segundo Brum, Franco e Scorza Junior (2013) o sulfentrazone foi degradado mais rapidamente em condições de maior umidade (80% da capacidade de campo), temperatura mais elevadas (40 °C) e horizontes superficiais do solo (0-30 cm). Em algumas situações não foi possível determinar os valores de meia vida devido à sua alta persistência. Blanco et al. (2005) definiram como 376 DAA o limite final da persistência do herbicida sulfentrazone, na dose de 600 g i.a. ha⁻¹ e aplicado em solo argiloso, limite este obtido quando os testes estatísticos revelaram que somente a partir dessa época não houve diferença em relação à testemunha sem aplicação desse produto.

Os resultados encontrados evidenciaram a alta mobilidade do sulfentrazone nos diferentes ambientes estudados. As propriedades físico-químicas desse herbicida, tais como solubilidade, pKa entre outras, contribuíram para uma maior sorção do sulfentrazone em solo

argiloso, sendo que estes fatores devem ser levados em consideração na recomendação desse herbicida com o intuito de evitar o residual no solo e a fitotoxidez nas culturas subsequentes.

4.1.2 Análises de resíduos de diuron

Ao analisar os resultados de diuron no solo (ng g^{-1} de solo) nas diferentes concentrações e profundidades amostradas, foi observado na camada de 0-10 cm (Figura 6 a, b) que o herbicida aplicado no dia do plantio estava em maior concentração no solo arenoso, conferindo dessa forma, uma maior sorção do diuron em solo de textura argilosa.

A sorção do herbicida diuron está relacionada, principalmente, com os teores de argila e pela interação hidrofóbica associada aos teores de matéria orgânica no solo (PRATA, LAVORENTI, 2000; PASSOS *et al.*, 2015; EL-NAHHAL; ABADSA; AFIFI, 2013). O solo argiloso avaliado neste experimento apresenta elevado teor de matéria orgânica, o que pode elevar a troca catiônica e adsorção à fração orgânica das moléculas (MATOS, 2018; PASSOS *et al.*, 2013).

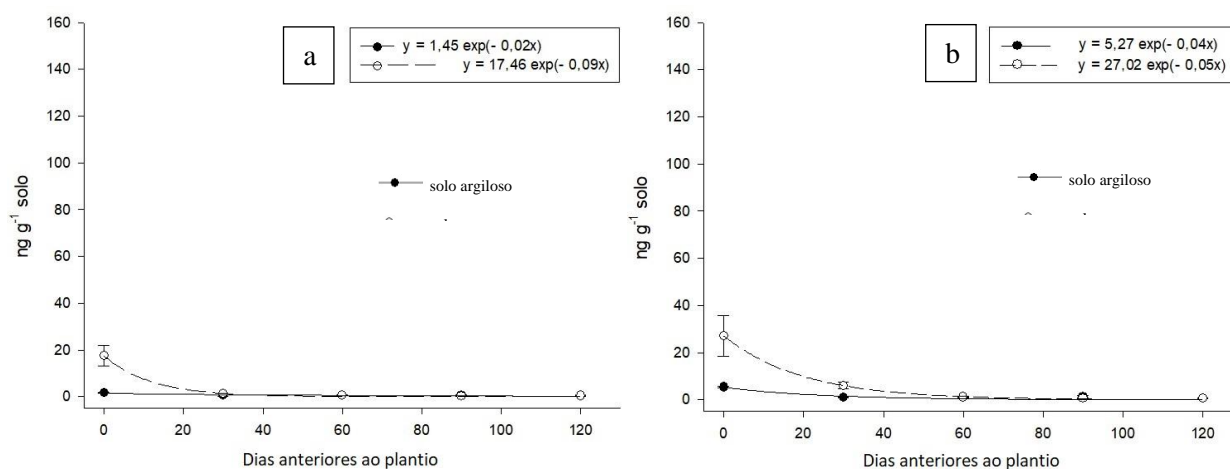


Figura 6. Concentrações de diuron no solo (ng g^{-1} de solo) na camada de 0-10 cm de profundidade, em solo arenoso e em solo argiloso para as diferentes épocas de aplicação, de acordo com cada dose aplicada 490 g i.a. ha⁻¹ (a) e 980 g i.a. ha⁻¹ (b). Botucatu/SP e Iracemápolis/SP– 2018/19.

Observa-se para a camada de 0 a 10 cm de profundidade, concentrações médias de 17 e 27 ng g^{-1} de diuron quando aplicado nas doses de 490 e 980 g i.a. ha⁻¹ respectivamente, pulverizado no dia do plantio (0 DAP) em solo de textura arenosa. O tipo e conteúdo de argila, teor e características da matéria orgânica e umidade do solo afetam as interações do herbicida no solo (LEVANON *et al.*, 1993, OLIVEIRA JR *et al.*, 2001). Diversos autores relataram que a capacidade de adsorção de herbicidas não-iônicos e hidrofóbicos, como o diuron, está

relacionada com o conteúdo de matéria orgânica do solo, e de menor forma, pela capacidade de troca catiônica que é fortemente influenciada pelos teores de carbono orgânico (LIU et al., 2010; EL-NAHHAL et al., 2013).

Na amostra com diuron aplicado 30 dias anteriores ao plantio (30 DAP), foi detectado concentração de $5,9 \text{ ng g}^{-1}$ do herbicida na camada superficial em solo arenoso na maior dose testada de $980 \text{ g i.a. ha}^{-1}$. Desta forma, o alto teor de areia pode representar menor potencial de adsorção do herbicida, aumentando a disponibilidade inicial do produto. No entanto, facilita também o processo de lixiviação reduzindo a quantidade do produto ao longo do tempo. Verificam-se nas amostragens de solo (Tabelas 2 e 4) alto teor de argila e matéria orgânica no solo, para a área de solo argiloso independente da profundidade avaliada. Dessa forma, os teores elevados de matéria orgânica e a maior capacidade de troca catiônica nos solos de textura argilosa (M.O. - 25 g dm^{-3} e CTC - $123 \text{ mmolc dm}^{-3}$) podem ter contribuído para a maior sorção do diuron e menor disponibilidade, comparado ao solo arenoso.

Para as amostras coletadas de 10 a 20 cm foram observadas baixa concentração em profundidade (Figura 7), evidenciando assim, uma maior retenção do diuron na camada de 0 a 10 cm do solo. As baixas concentrações do herbicida em profundidade eram esperadas devido à sua estabilidade molecular e à baixa solubilidade em água, sendo facilmente adsorvido aos constituintes do solo, em especial à matéria orgânica. Estudos demonstram que, para que ocorra maior lixiviação do diuron para camadas profundas do solo, são necessárias precipitações ou irrigações intensas (INOUE et al., 2008). Imache et al. (2008), estudando a movimentação do diuron ($1330 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) em solo areno-argiloso, afirmaram que essa ocorreu apenas nos primeiros 20 cm de profundidade.

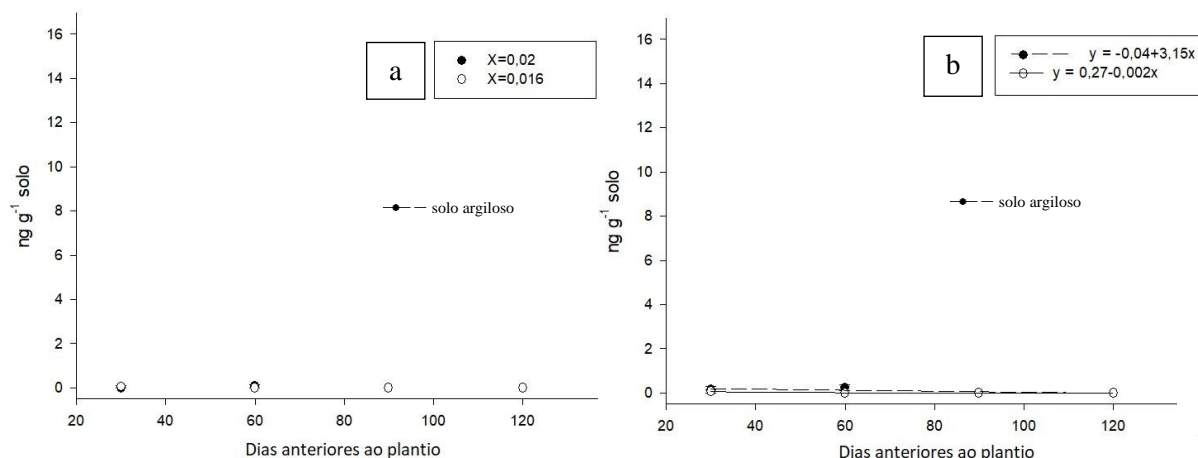


Figura 7. Concentrações de diuron no solo (ng g^{-1} de solo) na camada de 10-20 cm de profundidade, em solo arenoso e em solo argiloso para as diferentes épocas de aplicação, de acordo com cada dose aplicada $490 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ (a) e $980 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ (b). Botucatu/SP e Iracemópolis/SP– 2018/19.

Segundo Silva (2018) os efeitos do diuron na dose de $1299,50 \text{ g i.a. ha}^{-1}$, em estudo de campo se restringiram à camada de 0-10 cm em solo de textura argilosa, aplicado isolado ou em mistura com os herbicidas hexazinone e aminocyclopyrachlor. Os resultados encontrados por Reis et al. (2017) também confirmam a baixa mobilidade do diuron através do perfil do solo, permanecendo na camada superior do solo argiloso (0-5 cm). A movimentação do diuron na dose de $2000 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ no perfil do solo foi observada por Dores et al., (2009) e detectou-se a presença desse herbicida à profundidade de 50 cm em baixas concentrações, 0,08% da dose aplicada. Entretanto, observaram que as maiores perdas do diuron foram via escoamento superficial, em torno de 14% do herbicida aplicado inicialmente.

Segundo Bicalho et al. (2010), a movimentação do diuron em solo cultivado com cana-de-açúcar, durante dois anos consecutivos, atingiu 100 cm de profundidade em concentrações baixas ($0,07 \text{ ug g}^{-1}$ de solo). Entretanto, a maior parte do herbicida ficou retida nas camadas superficiais do solo (0 a 20 cm), o que foi atribuído a sua baixa solubilidade e à maior presença de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo.

O herbicida diuron apresenta propriedades físico-químicas que conferem características hidrofóbicas, o que pode favorecer interações entre o diuron e a matéria orgânica do solo (INOUE et al, 2008). A matéria orgânica é um dos principais componentes na sorção do diuron (LIU, et al, 2010). Em função disso, observou-se que o diuron teve menor movimentação descendente em solo argiloso, o qual apresenta maior teor de matéria orgânica (Tabela 2). Possivelmente, o solo argiloso por ter maior teor de matéria orgânica e conseqüentemente atividade microbiana, a persistência do herbicida foi minimizada. Principalmente, para

herbicidas como o diuron, em que a degradação microbiana é a sua principal via de dissipação no solo (PRATA et al, 2001).

No entanto, após o período de 60 dias anteriores ao plantio, foi observado concentrações baixas de diuron em ambas as áreas amostradas. O diuron é considerado um herbicida com ação residual no solo e pode apresentar persistência que varia de 30 a 365 dias (GIACOMAZZI & COCHET, 2004). Estudos demonstram meia vida de 90 dias para o herbicida diuron devido a forte adsorção à fração argila e orgânica do solo (LIU et al., 2010, SHANER, 2014, PPDB, 2022). Moderadamente móvel, o diuron tende a ser lixiviado, em especial, nos solos com baixo teor de matéria orgânica e nessa condição o processo de desorção ocorre com maior intensidade do que a sorção (LIU et al., 2010).

4.1.3 Análises de resíduos de diclosulam

Os métodos desenvolvidos para o diclosulam mostraram-se altamente eficientes na detecção e quantificação do composto nas amostras analisadas, apesar das amostras apresentarem concentrações extremamente baixas devido à baixa dose de ingrediente ativo do herbicida diclosulam ser de 35 g i.a. ha⁻¹.

Verifica-se na camada superficial (Figura 8) maiores concentrações do herbicida aplicado no dia do plantio. No entanto, foi observado comportamento semelhante das concentrações de diclosulam nos dois ambientes estudados nos diferentes períodos que foram aplicados o herbicida. A dinâmica do diclosulam no solo é fortemente influenciada pelos teores de umidade e matéria orgânica, sendo esses os principais fatores que influenciam na sua adsorção ao solo (SENSEMAN et al., 2007).

De acordo com Senseman (2007), a degradação do diclosulam é principalmente microbiana, dessa forma, a degradação desse herbicida diminui com a profundidade. Fungos e bactérias fazem parte da população microbiana responsável pela degradação biológica, sendo esses microrganismos mais abundantes nas camadas superficiais do solo (SILVA et al., 2014). Na degradação aeróbica microbiana, Yoder et al. (2000) observaram três metabólitos do diclosulam formados em níveis acima de 10 % do herbicida aplicado, sendo eles: 8-Cl-diclosulam, 5-OH-diclosulam e ASTP. Dentre as principais rotas de degradação do diclosulam é a alquilação do radical metoxi na posição 5 da cadeia aromática triazolopirimidina, formando o 5-OH-diclosulam, seguindo pela biocloração do 5-OH-diclosulam, formando o 8- Cl-diclosulam. Um caminho paralelo da biodegradação desse herbicida envolve a clivagem entre

a sulfonamida e o 1,3-diclorobenzeno do diclosulam, formando o metabólito ASTP. Estes produtos da degradação, bem como outros produtos secundários, são futuramente degradados em CO₂ e incorporados na matéria orgânica do solo como resíduos ligados. Ainda, Oliveira e Briguenti (2011) relataram que alguns herbicidas são degradados por meio de reações químicas (oxidação, redução, hidrólise) ou por processos físicos (fotodecomposição), e que a hidrólise química é responsável, em geral, pelo início de uma série de atividades degradativas que ocorrem no solo.

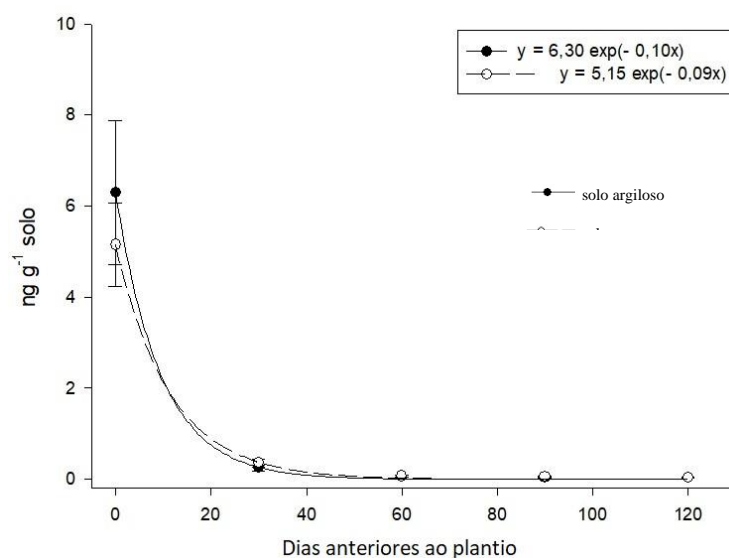


Figura 8. Concentrações de diclosulam na solução do solo (ng g⁻¹ de solo), na camada de 0-10 cm de profundidade, submetidas em solo arenoso e em solo argiloso e para as diferentes épocas de aplicação. Botucatu/SP e Iracemápolis/SP– 2018/19.

Por outro lado, foi observado concentração de 0,02 ng g⁻¹ de solo tanto para solo arenoso quanto para o argiloso aos 120 DAP na profundidade de 10 a 20 cm. Mesmo para os períodos mais próximos ao plantio das culturas aos 60 DAP, a concentração foi semelhante quando comparado com 120 DAP em profundidade de 10 a 20 cm com 0,01 e 0,03 ng g⁻¹ de solo para o solo arenoso e argiloso, respectivamente. Evidenciando assim, uma maior sorção do diclosulam no perfil superficial (0 a 10 cm) do solo.

Dentre as características físico-químicas dos solos nos locais semeados, ambos apresentaram valores de pH maiores que o pKa do diclosulam (4,9) (Botucatu: 5,2 e Iracemápolis: 5,3). Isso significa, provavelmente, que houve maior concentração do herbicida na sua forma dissociada, aniônica, do que na sua forma não dissociada ou neutra (VARGAS & ROMAN, 2004). Em relação aos valores de pH da solução do solo e sua interação com o pKa

da molécula estão o teor de argila, a concentração de matéria orgânica e a CTC (capacidade de troca de cátions) presentes em cada local, os quais são fatores determinantes para a adsorção do herbicida aos colóides de solo (KARPINSKI et al., 2014).

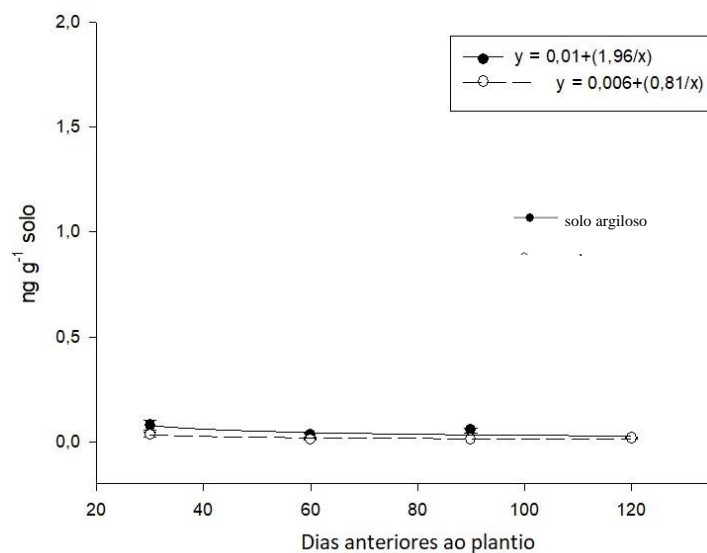


Figura 9. Concentrações de diclosulam na solução do solo (ng g^{-1} de solo), na camada de 10-20 cm de profundidade, submetidas em solo arenoso e em solo argiloso e para as diferentes épocas de aplicação. Botucatu/SP e Iracemápolis/SP– 2018/19. A dose utilizada de diclosulam foi de $35 \text{ g i.a. ha}^{-1}$.

Segundo Correia et al. (2007), quando a quantidade de água da chuva excede a capacidade de infiltração do solo, começam as perdas por escoamento superficial. Essas perdas podem ser intensificadas no sistema de plantio convencional, quando a água que penetra no solo encontra uma camada mais adensada e com menor capacidade de infiltração.

Segundo Zabik et al. (2001), a degradação do diclosulam em solos americanos (Mississippi, North Carolina, Illinois e Georgia) foi rápida: a meia-vida variou de 13 a 43 dias, em função das localidades estudadas.

4.2.1 Correlação entre as concentrações de sulfentrazone e diuron no solo e o efeito de fitotoxicidade no sorgo

Na figura 10 estão apresentados os resultados de fitotoxicidade obtidos na avaliação realizada, aos 28 dias após a emergência (DAE) da cultura do sorgo, em função das concentrações dos herbicidas sulfentrazone e diuron (ng g^{-1} de solo), em solo argiloso. Na Tabela 8 observa-se a fitotoxicidade nos diferentes períodos da aplicação (120, 90, 60, 30 e 0

DAP) e os diferentes momentos das avaliações 7, 15 e 28 dias após a emergência (DAE) e o rendimento de grãos dos tratamentos.

A dose comercial, recomendada em bula dos herbicidas sulfentrazone (245 g i.a.⁻¹) + diuron (490 g i.a.⁻¹) para a cultura da soja, quando pulverizada aos 120 dias antes do plantio do sorgo (BM 737) não apresentou sintomas visuais de fitotoxicidade. As concentrações detectadas na solução do solo dos herbicidas neste período foram para o sulfentrazone de 2,91 ng g⁻¹ de solo e de diuron de 0,34 ng g⁻¹ de solo (Figura 10).

Presume-se que os teores médios de argila e matéria orgânica presentes no solo da área de Iracemápolis-SP, devem ter favorecido a adsorção do sulfentrazone e diuron, diminuindo a sua concentração na solução do solo, durante o período da primeira aplicação 120 DAP até o plantio do sorgo. Considerando ainda o fato dos herbicidas sulfentrazone e diuron serem sensíveis à atividade degradadora de microorganismos presentes no solo, infere-se que o herbicida possa ter sido degradado a níveis não tóxicos para a cultura do sorgo, justificando a ausência de resultados que resultassem em fitointoxicação aos 7, 15 e 28 DAE (Tabela 8).

Neste mesmo período (120 DAP), a mistura formulada de sulfentrazone + diuron no dobro da dose recomendada de 490 + 980 g i.a. ha⁻¹ apresentaram fitotoxicidade de 23,8% aos 28 DAE.

Observa-se aos 90 dias anteriores ao plantio (DAP), fitotoxicidade moderada de 12,5% (Tabela 8) na dose de sulfentrazone 245 g i.a. ha⁻¹ + diuron 490 g i.a. ha⁻¹, nesse período foram observadas concentrações na solução do solo de sulfentrazone de 4,57 ng g⁻¹ solo e para o diuron na concentração de 0,49 ng g⁻¹ solo (Figura 10).

Os principais sintomas de fitotoxicidade observados nas plantas de sorgo foram característicos da molécula sulfentrazone acompanhada por necrose de epicótilo, folhas e caules, que resultaram na morte das plantas principalmente aos 0 DAP. O dano ao tecido da planta sensível ocorre pelo contato com o sulfentrazone quando a plântula emerge, sendo a luz necessária para a ação herbicida (Silva, et al., 2014).

Em relação a produtividade do sorgo em solo argiloso, no período de 120 DAP, os herbicidas sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) + diuron (490 g i.a. ha⁻¹), não apresentou redução significativa de produtividade, com apenas 6,4% em relação à testemunha capinada (Tabela 8). Observa-se neste mesmo período que o dobro da dose comercial sulfentrazone (490 g i.a. ha⁻¹) + diuron (980 g i.a. ha⁻¹) apresentou redução de 15,34%.

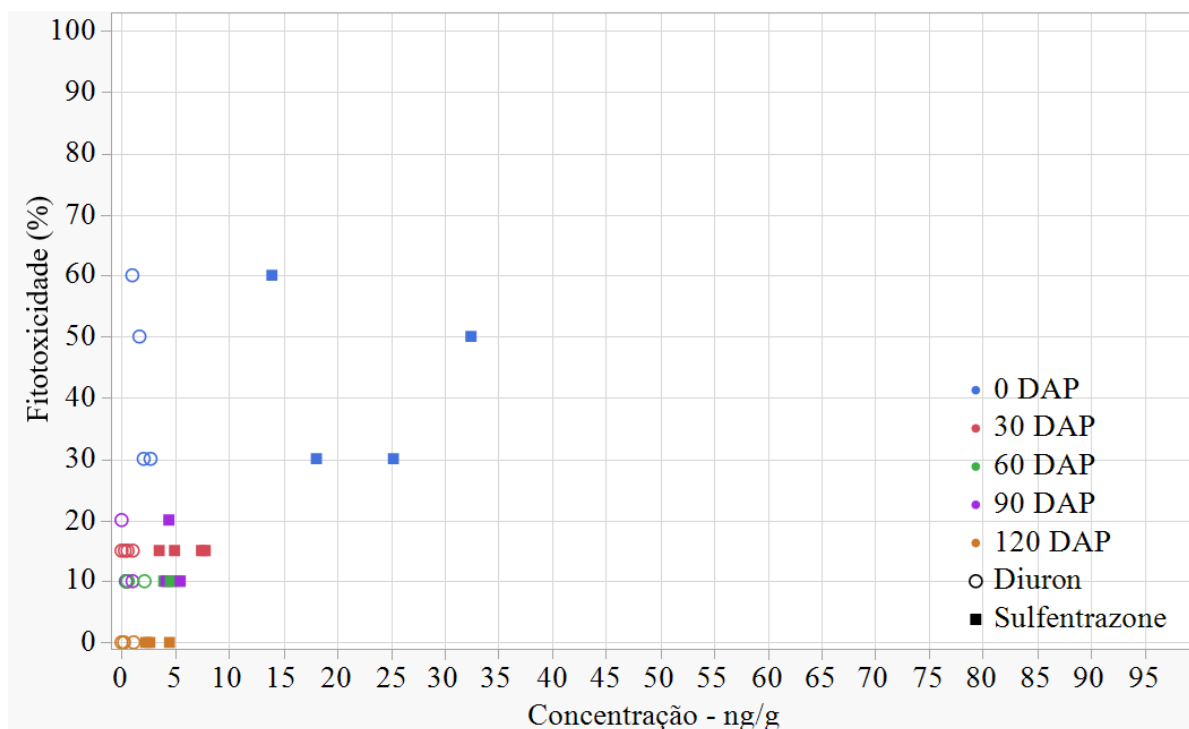


Figura 10. Porcentagem de fitotoxicidade das plantas de sorgo em função da concentração dos herbicidas sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) e diuron (490 g i.a. ha⁻¹) em solo argiloso (ng g⁻¹ de solo).

Tabela 8. Fitotoxicidade (%) e rendimentos de grãos do sorgo Variedade BM 737 cultivada no campo em solo argiloso e submetida a aplicação de sulfentrazone + diuron em diferentes doses e em diferentes épocas. Iracemápolis - SP, 2019.

Tratamento	Épocas	dose (g i.a. ha ⁻¹)	Fitointoxicação (%)			Rendiment o (kg ha ⁻¹)
			7 DAE ⁴	15 DAE	28 DAE	
testemunha capinada	-	-	0,0	0,0	0,0	3933,7 a
sulfentrazone + diuron	120 DAP ¹	245 + 490	0,0 e	0,0 f	0,0 e	3681,4 a
		490 + 980	36,3 cd	35,0 de	23,8 cd	3329,9 ab
sulfentrazone + diuron	90 DAP	245 + 490	22,5 d	22,5 e	12,5 de	3593,5 a
		490 + 980	47,5 bc	42,5 cd	22,5 d	3442,2 a
sulfentrazone + diuron	60 DAP	245 + 490	20,0 d	23,8 e	10,0 de	3281,1 ab
		490 + 980	31,3 cd	35,0 de	21,3 d	3564,25 a
sulfentrazone + diuron	30 DAP	245 + 490	25,0 d	20,0 e	15,0 d	3217,6 ab
		490 + 980	66,3 a	62,5 ab	37,5 bc	2978,4 ab
sulfentrazone + diuron	0 DAP	245 + 490	68,8 a	57,5 bc	42,5 b	2812,3 ab
		490 + 980	60,0 ab	77,5 a	70,0 a	2062,8 b
CV ³ (%)			19,09	17,81	22,61	16,7

¹DAP - Dias anteriores ao plantio, ²médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, ³CV – coeficiente de variação, ⁴DAE - Dias após a emergência do sorgo

Em uma pesquisa relacionada sobre a atividade residual de herbicidas com aplicação em pré emergência da cultura da soja, objetivou avaliar os efeitos no sorgo granífero cultivado em sucessão em solo de textura média, Dan et al. (2010) encontraram que os resíduos do

herbicida sulfentrazone na dose de 600 g i.a. ha⁻¹, causaram clorose nas plantas de sorgo aos 7 dias após a emergência (DAE), tendo os sintomas progredido e causando necrose nas folhas jovens aos 15 DAE com fitotoxicidade visual de 28,7%. Outro resultado interessante da pesquisa diz respeito aos efeitos negativos causados pelo sulfentrazone no acúmulo de fotoassimilados que refletiram na produtividade da cultura do sorgo, quando foi semeada 115 dias após a aplicação do herbicida proporcionando uma redução de aproximadamente 1.000 kg ha⁻¹ em relação a testemunha.

Verifica-se através da Tabela 8 que a aplicação de sulfentrazone (490 g i.a. ha⁻¹) + diuron (980 g i.a. ha⁻¹), em solo de textura argilosa, causou fitointoxicação elevada quando aplicado na data do plantio (0 DAP), com produtividade de 2062,8 kg ha⁻¹ (redução de 47,5%) quando comparado a testemunha com 3933,7 kg ha⁻¹ (Tabela 8).

Foi observada maior fitotoxidez ao sorgo na área cultivada em solo arenoso (Figura 11) quando comparado com o solo argiloso (Figura 10). Observa-se para o tratamento sulfentrazone 245 g i.a. ha⁻¹ + diuron 490 g i.a. ha⁻¹ fitotoxicidade leve de 10% aos 28 DAE no período de 120 dias anteriores ao plantio (Tabela 9), nesse mesmo período foi detectado concentrações de 1,85 ng g⁻¹ solo de sulfentrazone e para o diuron na concentração de 0,36 ng g⁻¹ solo (Figura 11).

Aos 30 DAP, os herbicidas sulfentrazone 245 g i.a. ha⁻¹ + diuron 490 g i.a. ha⁻¹ provocaram efeitos elevados de fitotoxicidade de 70% aos 28 DAE, nesse período foram observadas concentrações de 8,28 ng g⁻¹ solo de sulfentrazone e para o diuron na concentração de 1,35 ng g⁻¹ solo (Figura 11), e provocaram redução significativa de produtividade com redução de 53,5% quando comparado com a testemunha capinada (Tabela 9).

Para o dobro da dose recomendada da associação de sulfentrazone (490 g i.a. ha⁻¹) + diuron (980 g i.a. ha⁻¹) quando aplicados aos 120 DAP apresentou sintomas de fitointoxicação de 27,5% aos 28 DAE e provocou redução significativa de produtividade quando comparado com a testemunha capinada (Tabela 9).

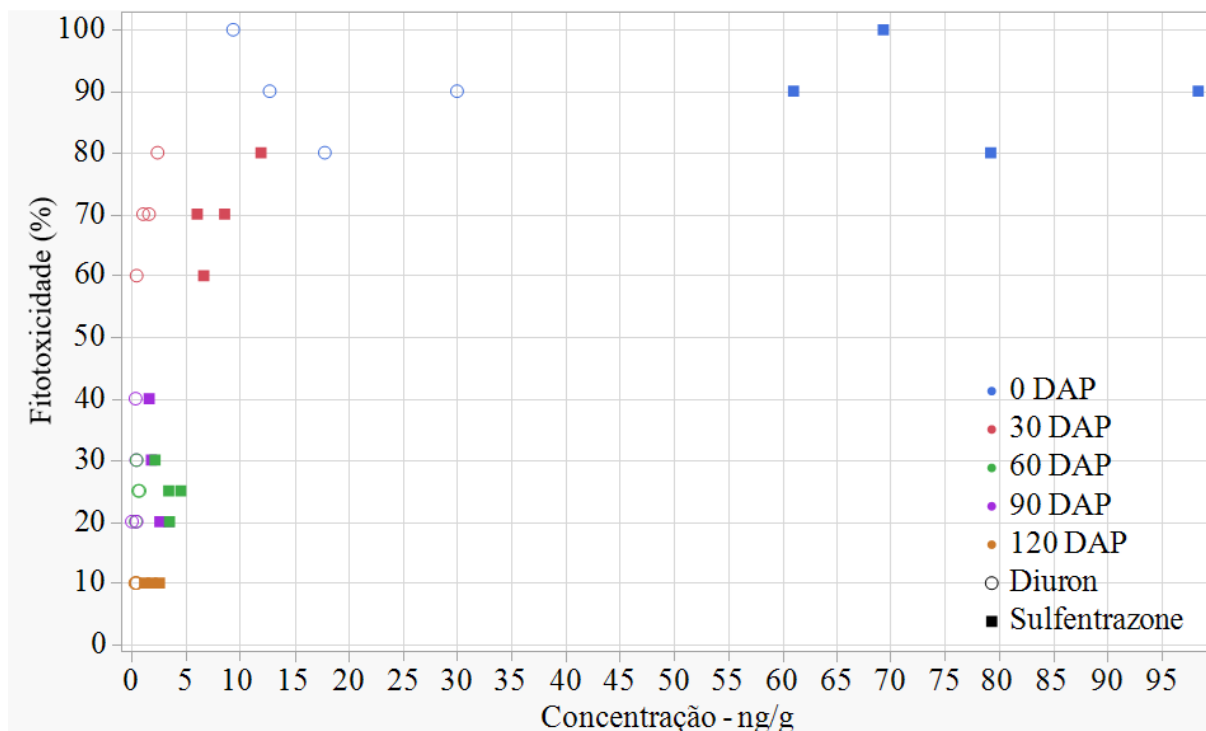


Figura 11. Porcentagem de fitotoxicidade das plantas de sorgo em função da concentração dos herbicidas sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) e diuron (490 g i.a. ha⁻¹) em solo arenoso (ng g⁻¹ de solo).

Tabela 9. Fitotoxicidade (%) e rendimentos de grãos do sorgo Variedade BM 737 cultivada no campo em solo arenoso e submetida a aplicação de sulfentrazone + diuron em diferentes doses e em diferentes épocas. Botucatu - SP, 2019.

Tratamento	Épocas	dose (g i.a. ha ⁻¹)	Fitointoxicação (%)			Rendimento (kg ha ⁻¹)
			7 DAE ⁴	15 DAE	28 DAE	
testemunha capinada	-	-	0,0	0,0	0,0	3909 a
sulfentrazone + diuron	120 DAP ¹	245 + 490	6,3 d	13,8 e	10,0 f	3218 ab
		490 + 980	13,7 cd	25,0 e	27,5 ef	2540 bc
sulfentrazone + diuron	90 DAP	245 + 490	16,25 cd	26,3 e	27,5 ef	3328 ab
		490 + 980	23,7 c	60,0 c	50,0 cd	2672 bc
sulfentrazone + diuron	60 DAP	245 + 490	15,0 cd	28,8 e	25,0 ef	3085 ab
		490 + 980	17,5 cd	52,5 d	46,2 de	1914 c
sulfentrazone + diuron	30 DAP	245 + 490	40,0 b	76,3 b	70,0 bc	1826 c
		490 + 980	60,0 a	88,8 a	90,0 ab	419 d
sulfentrazone + diuron	0 DAP	245 + 490	72,5 a	87,5 a	90,0 ab	617 d
		490 + 980	71,2 a	93,8 a	95,0 a	132 d
CV ³ (%)			15,8	16,3	16,86	18,0

¹DAP - Dias anteriores ao plantio, ²médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, ³CV – coeficiente de variação, ⁴DAE - Dias após a emergência do sorgo

Diversos fatores são responsáveis pela atividade residual de um herbicida no solo, sendo influenciadas pelas características físico-químicas das moléculas, características do solo, ação

dos microorganismos, além das condições edafoclimáticas de uma determinada região (OLIVEIRA JR. et al., 2001).

A dissipação dos herbicidas também é favorecida em áreas onde os mesmos ingredientes ativos foram aplicados sucessivas vezes. Rouchaud et al. (2000) analisaram a dissipação em áreas com histórico de aplicação de diuron e encontraram tempo de meia vida de 37 dias. Entretanto, quando compararam os resultados com os obtidos na área onde o herbicida foi aplicado pela primeira vez, observaram tempo de meia vida de 81 dias. Os autores atribuíram este menor tempo de meia-vida do diuron a uma adaptação da comunidade microbiana do solo, favorecendo assim a sua biodegradação.

Nesta pesquisa, em ambas as áreas não havia histórico de aplicações de sulfentrazone e diuron, portanto a persistência dos herbicidas possivelmente foi maior devido a menor degradação microbiana. As consistentes injúrias causadas pelos herbicidas sulfentrazone e diuron devem ser atribuídos ao longo período residual. Segundo Mueller et al. (2014), o tempo de meia vida do sulfentrazone encontrado foi de 21 a 71 dias em condições de campo.

Monquero et. al. (2013) relataram em estudos de período residual com bioindicadores que 90 dias após a aplicação do herbicida sulfentrazone as plantas bioindicadoras ainda tiveram redução de sua área foliar, demonstrando que ainda existem resíduos do herbicida no solo. Em trabalho utilizando colunas de solo de textura média (27% de argila), bioensaio e três precipitações, a presença do sulfentrazone foi observada até a camada de 10 cm do Latossolo Vermelho Escuro, mesmo com a maior precipitação (106 mm) (BACHEGA et al., 2009). Contudo, esses autores observaram aumento da fitotoxicidade do sulfentrazone em plantas de sorgo com o aumento da precipitação.

Em relação ao rendimento de grãos da cultura do sorgo, os tratamentos com o dobro da dose recomendada de sulfentrazone ($490 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) + diuron ($980 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), quando pulverizados em todos os períodos aos 120 e 0 DAP (dias anteriores ao plantio) em solo arenoso, causaram redução de produtividade em relação à testemunha, sendo estas de 2540 kg ha^{-1} (redução de 35%) e 132 kg ha^{-1} (redução de 96%) respectivamente. Para os tratamentos nas doses de sulfentrazone ($245 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) + diuron ($490 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), quando pulverizados nos períodos de 30 e 0 DAP (dias anteriores ao plantio) apresentaram redução significativa de produtividade sendo de 2083 kg ha^{-1} (redução de 46,7%) e 3292 kg ha^{-1} (redução de 84%) respectivamente (Tabela 9).

Dessa forma, para a mistura formulada nas doses registradas em bula de sulfentrazone ($245 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) + diuron ($490 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), são necessários 120 dias entre a aplicação e a

semeadura do sorgo em solo argiloso, sendo que a quantidade tolerada pela cultura destes herbicidas na solução do solo foi de 2,91 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,34 ng g⁻¹ de diuron. Por outro lado, o plantio de sorgo em solo arenoso, poderá apresentar fitotoxicidade leve (10%) aos 120 DAP sendo que neste ambiente foi encontrado concentrações destes herbicidas na solução do solo de 1,85 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,36 ng g⁻¹ de diuron. Em relação ao dobro da dose recomendada de sulfentrazone (490 g.i.a⁻¹) + diuron (980 g.i.a⁻¹) é recomendado não plantar o sorgo em sucessão à soja, devendo desta forma, realizar a calibração correta dos pulverizadores e evitar a sobreposição da aplicação principalmente próximos aos carregadores onde é realizado a manobra dos pulverizadores.

4.2.2 Correlação entre as concentrações de sulfentrazone e diuron no solo e o efeito de fitotoxicidade no feijão

Na figura 12 estão apresentados os resultados de fitotoxicidade obtidos na avaliação realizada, aos 28 DAE da cultura do feijão, em função das concentrações dos herbicidas sulfentrazone e diuron (ng g⁻¹ de solo), em solo argiloso. Na Tabela 10 observa-se a fitotoxicidade nos diferentes períodos da aplicação (120, 90, 60, 30 e 0 DAP) e os diferentes momentos das avaliações 7, 15 e 28 dias após a emergência (DAE) e o rendimento de grãos dos tratamentos.

A dose comercial, recomendada em bula dos herbicidas sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) + diuron (490 g i.a. ha⁻¹) para a cultura da soja, quando pulverizada aos 120 dias antes do plantio do feijão (IAC Imperador) não apresentou sintomas de fitotoxicidade. As concentrações dos herbicidas detectadas no solo de sulfentrazone foi de 2,91 ng g⁻¹ de solo e de diuron de 0,34 ng g⁻¹ de solo (Figura 12). Neste mesmo período (120 DAP), a mistura formulada de sulfentrazone + diuron no dobro da dose recomendada de 490 + 980 g i.a. ha⁻¹ apresentaram fitotoxicidade leve de 8,5% aos 28 DAE.

Aos 90 e 60 dias anteriores ao plantio, foram observados sintomas leves de fitotoxicidade, sendo menores que 8,8% (Tabela 10) na dose de sulfentrazone 245 g i.a. ha⁻¹ + diuron 490 g i.a. ha⁻¹. Aos 60 DAP foram observadas concentrações de sulfentrazone de 4,70 ng g⁻¹ solo e para o diuron na concentração de 0,89 ng g⁻¹ solo (Figura 12).

A associação dos herbicidas sulfentrazone (245 g i.a.⁻¹) + diuron (490 g i.a.⁻¹), aplicados aos 30 DAP apresentou fitotoxicidade moderada de 11,3 aos 28 DAE (Tabela 10). Nota-se que

quando pulverizado no dia da sementeira (0 DAP), foram observadas fitotoxicidade de 16,2% com concentrações de sulfentrazone de 22,45 ng g⁻¹ de solo e para o diuron 1,86 ng g⁻¹ de solo.

A aplicação do dobro da dose recomendada na cultura da soja dos herbicidas sulfentrazone (490 g i.a. ha⁻¹) com diuron (980 g i.a. ha⁻¹) quando aplicado no dia do plantio do feijão (0 DAP) apresentou sintomas de fitotoxicidade preocupantes 42,5%, com redução de produtividade de 49,4% em relação à testemunha capinada (Tabela 10).

Aos 60 DAP, os herbicidas sulfentrazone (490 g i.a. ha⁻¹) + diuron (980 g i.a. ha⁻¹) apresentaram sintomas de intoxicação no feijão de 20% aos 15 DAE, chegando a ocasionar início de necrose no limbo foliar. No entanto, foi observado nas folhas jovens recuperação da cultura, com sintomas de intoxicação de 12,5% na avaliação de 28 DAE.

Gheno (2013) testando aplicação de diuron 1250 g.i.a h⁻¹ aos 140 dias antes da sementeira (DAS) do feijão Tangará, observou injúrias leves e aos 210 DAS não foram constatados sintomas de fitotoxicidade.

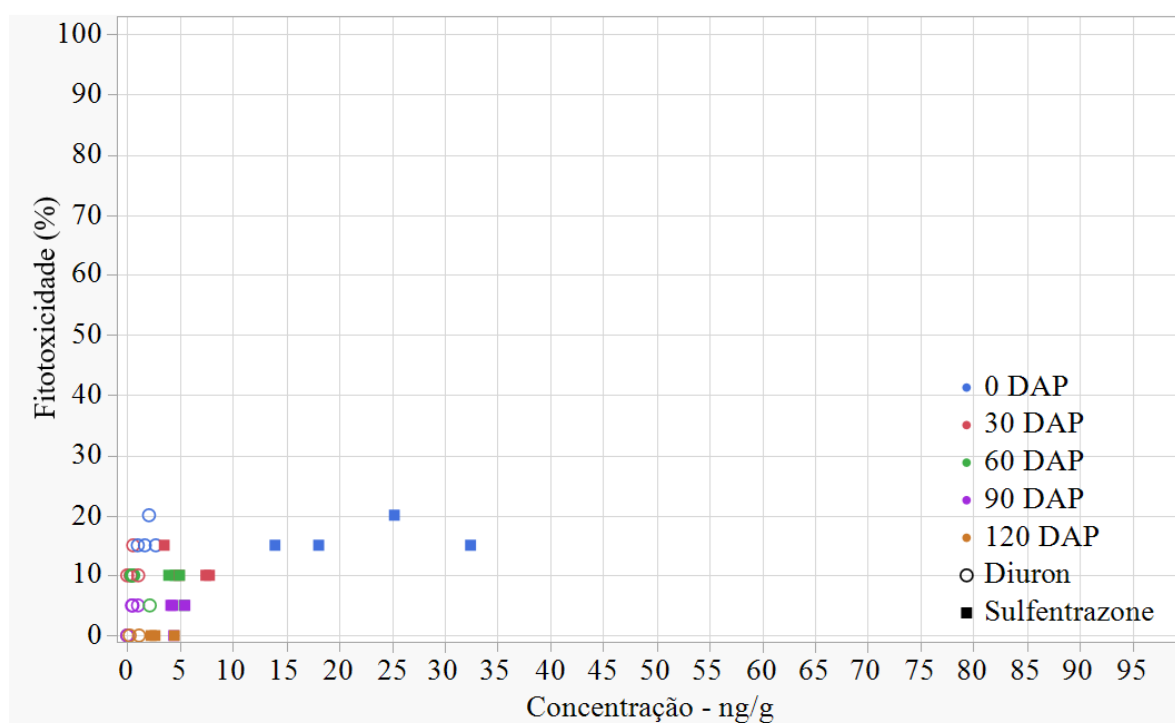


Figura 12. Porcentagem de fitotoxicidade das plantas de feijão em função da concentração dos herbicidas sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) e diuron (490 g i.a. ha⁻¹) em solo argiloso (ng g⁻¹ de solo).

Apesar do herbicida sulfentrazone não apresentar registro para o feijão, pesquisas demonstram a possibilidade de uso em pré-emergência e seletividade de sulfentrazone ao

feijão-comum em doses entre 210 a 400 g i.a. ha⁻¹ em solo argiloso (BRUSAMARELLO *et al.*, 2021; VIECELLI *et al.*, 2021). Em trabalho realizado por Pereira (2021), com a cultivar IAC Imperador observou que doses de sulfentrazone iguais ou acima de 183,5 g ha⁻¹ comprometeram, principalmente, o acúmulo de massa seca e área foliar das plantas de feijão-comum. Esses resultados corroboram em parte com o observado no presente estudo efetuado em solo argiloso, pois a seletividade dos herbicidas foi dependente da dose e da época de aplicação dos herbicidas.

Tabela 10. Fitotoxicidade (%) e rendimentos de grãos do feijão cultivar IAC-Imperador cultivada no campo em solo argiloso e submetida a aplicação de sulfentrazone + diuron em diferentes doses e em diferentes épocas. Iracemápolis - SP, 2019.

Tratamento	Épocas	dose (g i.a. ha ⁻¹)	Fitointoxicação (%)			Rendimento (kg ha ⁻¹)
			7 DAE ⁴	15 DAE	28 DAE	
testemunha capinada	-	-	0,0	0,0	0,0	2068 a
sulfentrazone + diuron	120 DAP ¹	245 + 490	0,0 e	0,0 g	0,0 e	2078 a
		490 + 980	5,0 de	7,5 fg	8,5 cd	2037 ab
sulfentrazone + diuron	90 DAP	245 + 490	3,8 e	8,7 efg	3,8 de	1967 ab
		490 + 980	5,0 de	10,0 def	10,0 bcd	1757 ab
sulfentrazone + diuron	60 DAP	245 + 490	6,2 cde	10,0 def	8,8 cd	1950 ab
		490 + 980	10,0 bcd	20,0 bc	12,5 bc	1773 ab
sulfentrazone + diuron	30 DAP	245 + 490	11,3 bc	16,3 cde	11,3 bc	1796 ab
		490 + 980	11,0 bc	17,5 bcd	13,8 bc	1733 ab
sulfentrazone + diuron	0 DAP	245 + 490	12,5 b	25,0 b	16,2 b	1557 ab
		490 + 980	27,5 a	50,0 a	42,5 a	1046 b
CV ³ (%)			23,54	19,35	20,26	23,0

¹DAP - Dias anteriores ao plantio, ²médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, ³CV – coeficiente de variação, ⁴DAE - Dias após a emergência do feijão

Em relação ao rendimento de grãos da cultura do feijão, os tratamentos nas doses de sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) + diuron (490 g i.a. ha⁻¹), nos diferentes períodos avaliados não apresentaram redução de produtividade. No entanto, no momento da semeadura resultou em redução de 511 kg ha⁻¹ (redução de 24,7%), quando comparado com a testemunha.

Considerando a dose comercial do herbicida sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) + diuron (490 g i.a. ha⁻¹), utilizado em soja, não apresentar diferenças significativas de produtividade nos diferentes períodos que foram aplicados na cultura do feijão, pode-se concluir mesmo que na presença de sintomas leves (< 8,8%) observados nos períodos de 90 e 60 DAP nas plantas de

feijão da cultivar IAC-Imperador (Tabela 10), pode-se realizar o plantio desta cultura em sucessão à soja respeitando o período de 60 dias após aplicado em solo argiloso e a quantidade tolerada pela cultura destes herbicidas na solução do solo foram de 4,70 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,89 ng g⁻¹ de diuron.

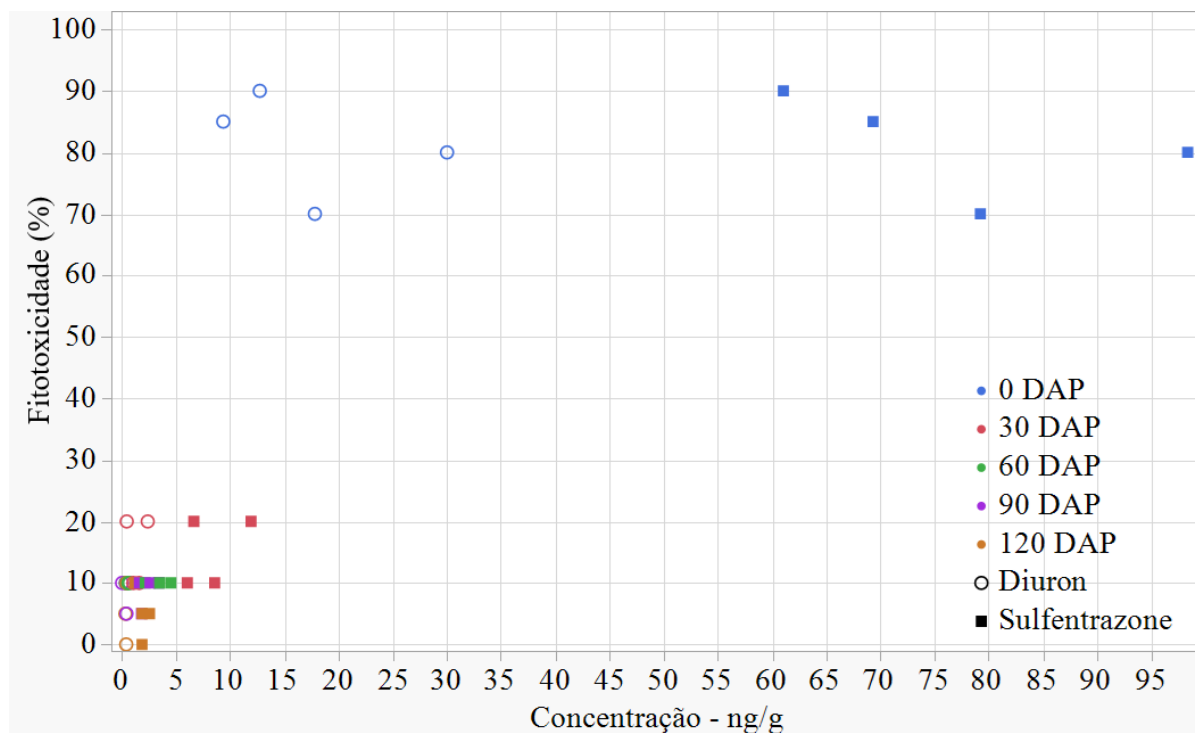


Figura 13. Porcentagem de fitotoxicidade das plantas de feijão em função da concentração dos herbicidas sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) e diuron (490 g i.a. ha⁻¹) em solo arenoso (ng g⁻¹ de solo).

Na figura 13 estão apresentados os resultados de intoxicação obtidos na avaliação realizada aos 28 DAE da cultura do feijão, em função das concentrações dos herbicidas sulfentrazone e diuron (ng g⁻¹ de solo), em solo arenoso. Observa-se para a cultura, aos 120 dias anteriores da semeadura do feijão na cultivar IAC Imperador, provocou sintomas leves (5%) de fitotoxicidade observado aos 28 DAE, com concentrações biodisponíveis dos herbicidas no solo para o sulfentrazone de 1,85 ng g⁻¹ de solo e de diuron de 0,36 ng g⁻¹ de solo (Figura 13).

Aos 90 DAP, os herbicidas sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) + diuron (490 g i.a. ha⁻¹), causaram moderada fitointoxicação (15,0%) avaliado aos 7 DAE, com posterior recuperação da cultura observada aos 28 DAE com fitotoxicidade de 8,8% (Tabela 11). Neste período as concentrações analisadas dos herbicidas no solo foram de sulfentrazone de 2,35 ng g⁻¹ de solo e de diuron de 0,29 ng g⁻¹ de solo (Figura 13). Para o dobro da dose recomendada sulfentrazone

(490 g i.a. ha⁻¹) + diuron (980 g i.a. ha⁻¹), apresentaram sintomas mais pronunciados de intoxicação com 21,3% aos 28 DAE.

Mesma tendência foi observado aos 60 DAP, na dose comercial de sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) + diuron (490 g i.a. ha⁻¹), resultaram em sintomas de fitointoxicação de 15% aos 7 DAE e gradativamente reduziu o nível de fitointoxicação na avaliação de 28 DAE com índice de fitotoxicidade de 10%. Neste período as concentrações analisadas dos herbicidas no solo foram de sulfentrazone de 3,38 ng g⁻¹ de solo e de diuron de 0,52 ng g⁻¹ de solo (Figura 13).

Tabela 11. Fitotoxicidade (%) e rendimentos de grãos do feijão cultivar IAC-Imperador cultivada no campo em solo arenoso e submetida a aplicação de sulfentrazone + diuron em diferentes doses e em diferentes épocas. Botucatu - SP, 2019.

Tratamento	Épocas	dose (g i.a. ha ⁻¹)	Fitointoxicação (%)			Rendimento (kg ha ⁻¹)
			7 DAE ⁴	15 DAE	28 DAE	
testemunha capinada	-	-	0,0	0,0	0,0	1493,8 a
sulfentrazone + diuron	120 DAP ¹	245 + 490	8,8 c	11,3 e	5,0 e	1421,1 a
		490 + 980	18,8 b	13,8 de	15,0 cde	1300,2 a
sulfentrazone + diuron	90 DAP	245 + 490	15,0 bc	13,8 de	8,8 de	1411,0 a
		490 + 980	15,0 bc	18,8 de	21,3 c	1322,7 a
sulfentrazone + diuron	60 DAP	245 + 490	15,0 bc	13,8 de	10,0 cde	1358,2 a
		490 + 980	15,0 bc	22,5 d	20,0 cd	1239,6 a
sulfentrazone + diuron	30 DAP	245 + 490	16,3 b	18,8 de	15,0 cde	1192,1 a
		490 + 980	21,3 b	32,5 c	35,0 b	918,5 ab
sulfentrazone + diuron	0 DAP	245 + 490	37,5 a	67,5 b	81,3 a	360,6 bc
		490 + 980	42,5 a	77,5 a	86,3 a	159,5 c
CV ³ (%)			13,92	13,4	16,65	27,8

¹DAP - Dias anteriores ao plantio, ²médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, ³CV – coeficiente de variação, ⁴DAE - Dias após a emergência do feijão

No momento da semeadura em solo arenoso, tanto a dose comercial dos herbicidas sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) + diuron (490 g i.a. ha⁻¹), quanto o dobro da dose sulfentrazone (490 g i.a. ha⁻¹) + diuron (980 g i.a. ha⁻¹), resultaram em elevada fitotoxicidade nas plantas de feijão, de 81,3 % e 86,3 %, respectivamente. Nesse período, considerando a dose de sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) + diuron (490 g i.a. ha⁻¹), foi observado nas análises cromatográficas concentração de 77,01 ng g⁻¹ solo para o sulfentrazone e de 17,46 ng g⁻¹ solo para o diuron (Figura 13).

As injúrias visuais observadas principalmente nos períodos próximos à semeadura foram necrose dos cotilédones, clorose entre as nervuras e bordas do limbo foliar, com evolução para necrose das estruturas morfológicas. Os efeitos dos herbicidas se estenderam até o período final de avaliação, com encarquilhamento, formação de rosetas e encurtamento de entrenós.

Em relação ao rendimento de grãos da cultura do feijão em solo arenoso, os herbicidas sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) + diuron (490 g i.a. ha⁻¹), quanto o dobro da dose de sulfentrazone (490 g i.a. ha⁻¹) + diuron (980 g i.a. ha⁻¹), quando pulverizados aos 120 DAP não apresentaram redução significativa de produtividade. No entanto, no momento da semeadura causaram redução significativa, de 1133,2 kg ha⁻¹ (redução de 75,9%) e de 1334,3 kg ha⁻¹ (redução de 89,3%) respectivamente, quando comparado com a testemunha capinada.

Na pesquisa realizada por Pereira (2021) em solo arenoso, observou-se que há diferença de tolerância entre as cultivares de feijão aos herbicidas sulfentrazone e diuron. As doses de 60,5 g i.a. ha⁻¹ (sulfentrazone) e 14,4, g i.a. ha⁻¹ (diuron), isolados ou em associação, foram suficientes para reduzir em média 61% da área foliar e 42% da massa seca da parte aérea (MSPA) da cultivar IAC Imperador. Para essas mesmas doses, para a cultivar BRSMG Talismã, não houve redução da área foliar e houve redução da MSPA entre 10 e 15%. Mesmo que ocorra a fitotoxicidade nas culturas devido a aplicação de herbicidas, existem pesquisas que demonstram que a sensibilidade ou a fitointoxicação está relacionada com a variedade utilizada (VICTORIA FILHO & CAMARGO, 1980; VELINI et al., 1993).

Os efeitos dos tratamentos herbicidas avaliados foram superiores quando aplicados em solo arenoso, contrastando com seu efeito em solo argiloso. Os baixos teores de matéria orgânica e de argila, contidos no solo do tipo argiloso, conforme análise granulométrica e química, podem ter interferido na adsorção das moléculas (MENDES *et al.*, 2014; NAVARRO *et al.*, 2012), justificando os resultados obtidos.

A sorção dos herbicidas sulfentrazone e diuron está associada, principalmente, com os teores de argila e pela interação hidrofóbica associada aos teores de matéria orgânica no solo (PRATA, LAVORENTI, 2000; PASSOS *et al.*, 2015; EL-NAHHAL; ABADSA; AFIFI, 2013). O solo argiloso avaliado neste experimento apresenta elevado teor de matéria orgânica (Tabela 2), o que pode elevar a troca catiônica e adsorção à fração orgânica das moléculas.

Dessa forma, para a mistura formulada nas doses registradas em bula de sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) + diuron (490 g i.a. ha⁻¹), são necessários 60 dias entre a aplicação e a semeadura do feijão em solo argiloso, sendo que a quantidade tolerada pela cultura destes herbicidas na

solução do solo foi de 4,70 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,89 ng g⁻¹ de diuron. Por outro lado, o plantio de feijão em solo arenoso, poderá apresentar fitotoxicidade leve aos 120 DAP sendo que neste ambiente foi encontradas concentrações destes herbicidas na solução do solo de 1,85 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,36 ng g⁻¹ de diuron.

Os resultados obtidos no presente estudo foram extremamente importantes para a avaliação do potencial de uso de herbicidas para uso no feijoeiro, como é o caso da associação de sulfentrazone com diuron. Pelo fato de os estudos terem sido conduzidos em dois solos com características distintas, e forneceu informações relevantes sobre as doses máximas toleradas pela cultura do feijão em condições diferentes, auxiliando no limitado número de informações sobre a seletividade de herbicidas para o feijoeiro.

4.2.3 Correlação entre as concentrações de sulfentrazone e diuron no solo e o efeito de fitotoxicidade no milho

Na figura 14 estão apresentados os resultados de intoxicação obtidos na avaliação realizada aos 28 DAE da cultura do milho, em função das concentrações de herbicidas sulfentrazone e diuron (ng g⁻¹ de solo) em solo argiloso. Na Tabela 10 observa-se a fitotoxicidade nos diferentes períodos da aplicação (120, 90, 60, 30 e 0 DAP) e os diferentes momentos das avaliações 7, 15 e 28 dias após a emergência (DAE) e o rendimento de grãos dos tratamentos.

Não foi observado fitotoxicidade dos herbicidas aplicados nos períodos de 120, 90 e 60 dias anteriores ao plantio mesmo quando encontradas nas concentrações de sulfentrazone de 4,70 ng g⁻¹ de solo e de diuron 0,89 ng g⁻¹ de solo.

Foi observada menor fitotoxidez ao milho na área cultivada em solo argiloso (Figura 14) quando comparado com o solo arenoso (Figura 15). Observa-se que o milho (DKB 290 PRO 3) começou a apresentar fitotoxicidade leve (7,5%) aos 30 DAP observada aos 28 DAE nas doses de sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) + diuron (490 g i.a. ha⁻¹) com as respectivas concentrações detectadas na solução do solo de 5,91 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,48 ng g⁻¹ de diuron.

Para o milho em solo argiloso, verifica-se que os maiores sintomas de fitotoxicidade foram de 26,3% observada aos 15 DAE, decorrente da aplicação do dobro da dose comercial da associação de sulfentrazone (490 g i.a. ha⁻¹) + diuron (980 g i.a. ha⁻¹), no dia do plantio (0 DAP) (Tabela 12). Resultados semelhantes foram observados por Artuzi e Contiero (2006) na

cultura do milho cultivado em sucessão a soja após aplicação de 600 g i.a. ha⁻¹ de sulfentrazone em solo de textura média. Esses autores observaram os sintomas de sulfentrazone por até 28 DAE, embora em menores intensidades, indicando rápida recuperação da espécie.

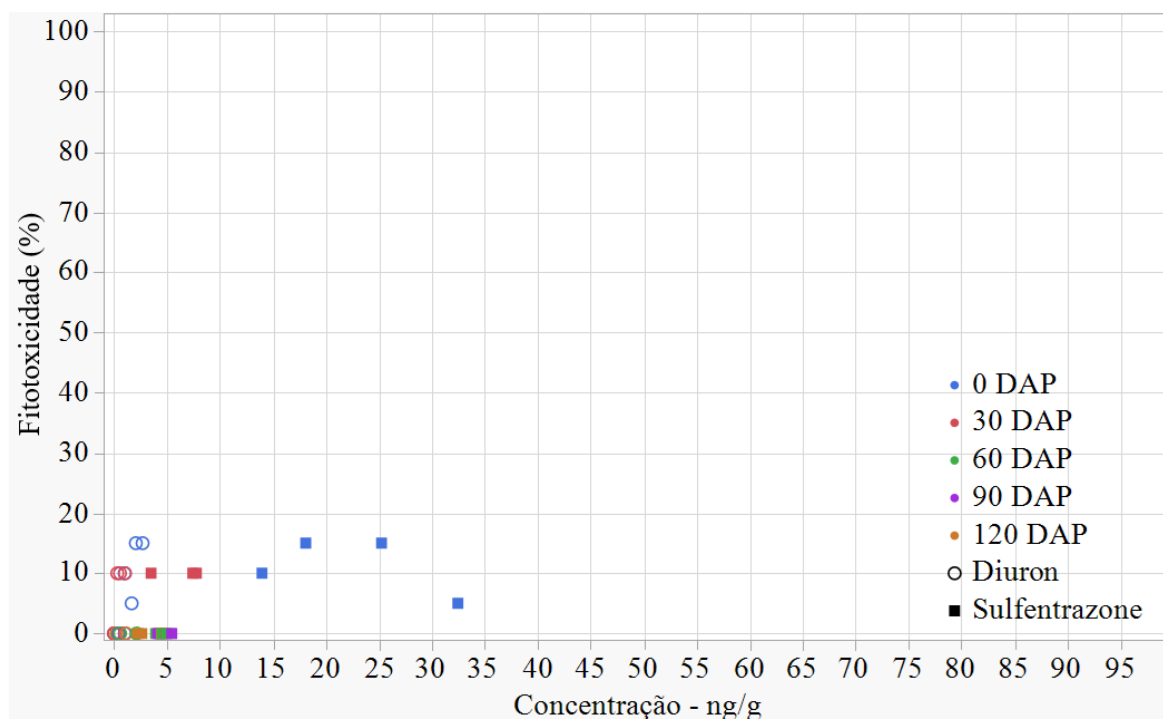


Figura 14. Porcentagem de fitotoxicidade das plantas de milho em função da concentração dos herbicidas sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) e diuron (490 g i.a. ha⁻¹) em solo argiloso (ng g⁻¹ de solo).

Para o período de 120 dias entre a aplicação e o plantio do milho em solo arenoso, não foi observado fitotoxicidade em nenhuma das doses dos herbicidas da associação de sulfentrazone (245 g i.a.⁻¹) + diuron (490 g i.a.⁻¹) e sulfentrazone (490 g i.a.⁻¹) + diuron (980 g i.a.⁻¹), sendo que as concentrações detectadas nesse período foram de sulfentrazone de 1,85 ng g⁻¹ de solo e de diuron de 0,36 ng g⁻¹ de solo (Figura 15).

Para o período de 90 dias entre a aplicação e o plantio do milho os herbicidas sulfentrazone (245 g i.a.⁻¹) + diuron (490 g i.a.⁻¹), apresentaram sintomas leves de fitointoxicação de 3,8% aos 28 DAE, não afetando significativamente a produtividade (Tabela 13), e as concentrações dos herbicidas encontradas no solo nesse período foram de sulfentrazone 2,35 ng g⁻¹ de solo e de diuron 0,29 ng g⁻¹ de solo.

Tabela 12. Fitotoxicidade (%) e rendimentos de grãos do milho do híbrido DKB 290 PRO 3 cultivada no campo em solo argiloso e submetida a aplicação de sulfentrazone + diuron em diferentes doses, e em diferentes épocas. Iracemápolis - SP, 2019.

Tratamento	Épocas	Dose (g i.a. ha ⁻¹)	Fitointoxicação (%)		
			7 DAE ⁴	15 DAE	28 DAE
testemunha capinada	-	-	0,0	0,0	0,0
sulfentrazone + diuron	120 DAP ¹	245 + 490	0,0 c	0,0 d	0,0 c
		490 + 980	0,0 c	0,0 d	0,0 c
sulfentrazone + diuron	90 DAP	245 + 490	0,0 c	0,0 d	0,0 c
		490 + 980	0,0 c	0,0 d	0,0 c
sulfentrazone + diuron	60 DAP	245 + 490	0,0 c	0,0 d	0,0 c
		490 + 980	0,0 c	0,0 d	0,0 c
sulfentrazone + diuron	30 DAP	245 + 490	8,8 b	8,8 c	7,5 b
		490 + 980	18,8 a	16,3 b	11,3 b
sulfentrazone + diuron	0 DAP	245 + 490	11,3 b	8,8 c	11,3 b
		490 + 980	21,3 a	26,3 a	23,8 a
		CV ³ (%)	33,64	39,28	50,56

¹DAP - Dias anteriores ao plantio, ²médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, ³CV – coeficiente de variação, ⁴DAE - Dias após a emergência do milho

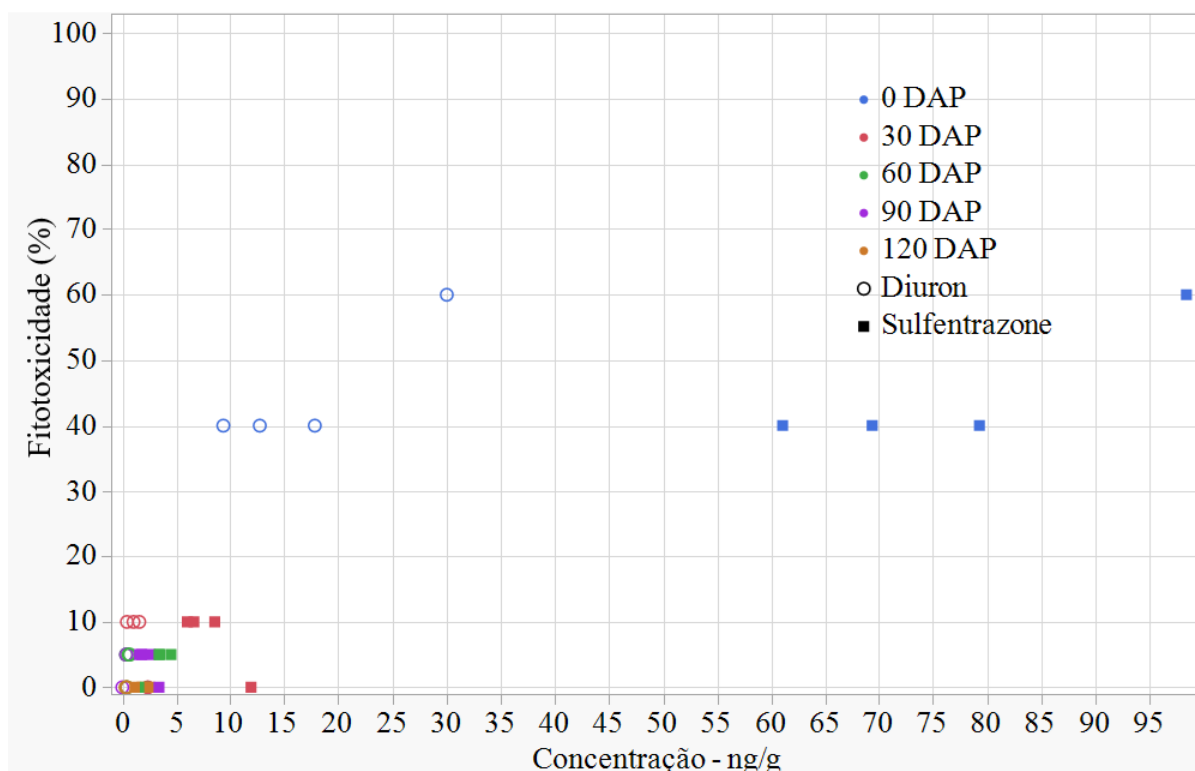


Figura 15. Porcentagem de fitotoxicidade das plantas de milho em função da concentração dos herbicidas sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) e diuron (490 g i.a. ha⁻¹) em solo arenoso (ng g⁻¹ de solo).

Para o período de 60 dias entre a aplicação e o plantio do milho os herbicidas sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) + diuron (490 g i.a. ha⁻¹), apresentaram sintomas leves de fitointoxicação de 3,8% aos 28 DAE, não afetando significativamente a produtividade (Tabela

13), e as concentrações dos herbicidas encontradas no solo nesse período foram de sulfentrazone 3,38 ng g⁻¹ de solo e de diuron 0,52 ng g⁻¹ de solo.

Efeitos fitotóxicos leves (4,7%) após 60 dias da aplicação do herbicida sulfentrazone (40 g i.a. ha⁻¹) e a semeadura do milho, conduzido em casa de vegetação (FRANCISCHINI et al., 2020). Este resultado obtido pelos autores corrobora com o observado nesta pesquisa, onde a aplicação de diuron + sulfentrazone, proporcionou fitotoxicidade leve (3,8%) nas plantas de milho semeadas após 60 dias da aplicação.

Quando a aplicação foi realizada no momento da semeadura do milho em solo arenoso, foram identificadas concentrações de 77,01 ng g⁻¹ de solo de sulfentrazone e para o diuron de 17,46 ng g⁻¹ de solo e os sintomas de fitotoxicidade foram de 45% aos 28 DAE (Figura 15). Os sintomas variaram de clorose mais pronunciada próximo das nervuras, redução de porte e arroxamento das primeiras folhas com posterior necrose.

Tabela 13. Fitotoxicidade (%) e rendimentos de grãos do milho do híbrido DKB 290 PRO 3 cultivada no campo em solo arenoso e submetida a aplicação de sulfentrazone + diuron em diferentes doses, e em diferentes épocas. Botucatu - SP, 2019.

Tratamento	Épocas	dose (g i.a. ha ⁻¹)	Fitointoxicação (%)			Rendimento (kg ha ⁻¹)
			7 DAE ⁴	15 DAE	28 DAE	
testemunha capinada	-	-	0,0	0,0	0,0	5533 a
sulfentrazone + diuron	120 DAP ¹	245 + 490	0,0 e	0,0 d	0,0 d	5471 a
		490 + 980	0,0 e	0,0 d	0,0 d	5363 a
sulfentrazone + diuron	90 DAP	245 + 490	0,0 e	5,0 cd	3,8 cd	5463 a
		490 + 980	0,0 e	15,0 cd	13,7 c	5332 ab
sulfentrazone + diuron	60 DAP	245 + 490	3,8 de	10,0 cd	3,8 cd	5452 a
		490 + 980	8,8 cd	13,8 cd	8,8 cd	5231 ab
sulfentrazone + diuron	30 DAP	245 + 490	6,3 cde	11,3 cd	7,5 cd	5459 a
		490 + 980	12,5 bc	17,5 c	15,0 c	5169 ab
sulfentrazone + diuron	0 DAP	245 + 490	20,0 b	50,0 b	45,0 b	4836 ab
		490 + 980	32,5 a	76,3 a	62,5 a	4336 b
CV ³ (%)			40,09	35,5	31,48	7,9

¹DAP - Dias anteriores ao plantio, ²médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, ³CV – coeficiente de variação, ⁴DAE - Dias após a emergência do milho

Os resultados indicam que o plantio do milho após o uso dos herbicidas residuais como o sulfentrazone e diuron são seletivos, considerando que esses herbicidas além de serem adsorvidos e lixiviados ao longo do tempo, não irá prejudicar o plantio do milho como cultura

sucessora. Os resultados corroboram com o trabalho de Pereira et al. (2000), ao estudar o efeito residual de sulfentrazone em solo arenoso, não observou sintomas de fitotoxicidade desse herbicida sobre o milho semeado em sucessão à soja.

Resíduos dos herbicidas sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) + diuron (490 g i.a. ha⁻¹), em períodos superiores a 30 DAP não foram suficientes para promover redução significativa de produtividade do milho cultivar DKB 290 PRO 3 em solo arenoso. Tais resultados são semelhantes ao apresentado por Dan et al. (2012), que não observaram efeitos negativos do milho cultivado em sucessão ao ciclo da soja após a utilização de sulfentrazone na dose de 600 g. i.a. ha⁻¹ em condições de solo argiloso. No entanto, no momento da semeadura os herbicidas sulfentrazone (490 g i.a. ha⁻¹) + diuron (980 g i.a. ha⁻¹), causaram redução significativa de 1197 kg ha⁻¹ (redução de 21,6%), quando comparado com a testemunha.

Embora Szmigielski et al. (2009) tenham observado efeitos negativos do herbicida sulfentrazone em plantas de beterraba por um período superior a 302 dias, o milho, nas condições de São Paulo, não apresentou sensibilidade ao referido herbicida, podendo assim, ser considerado uma alternativa de cultivo em áreas anteriormente manejadas com este produto.

Estudos relatam que em solos de textura arenosa a aplicação de diuron isolado e em mistura a sulfentrazone aumentou a lixiviação das moléculas (GARCIA *et al.*, 2012; 2017; MATOS, 2018; MUNDT *et al.*, 2019). Em mistura, os ingredientes ativos podem competir pelo sítio de sorção nos colóides do solo, interferindo na biodisponibilidade das moléculas com maior e menor capacidade de sorção (FAREHORST; PROKOPOWICH, 2003).

Dessa forma para a mistura formulada de sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) + diuron (490 g i.a. ha⁻¹), são necessários 30 dias entre a aplicação e a semeadura do milho em solo argiloso sendo que a quantidade máxima tolerada pela cultura destes herbicidas na solução do solo em solo argiloso foi de 5,91 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 1,86 ng g⁻¹ de diuron. Para o ambiente de solo arenoso deve-se respeitar 60 dias entre a aplicação de sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) + diuron (490 g i.a. ha⁻¹), e as quantidades toleradas dos herbicidas pela cultura nesse ambiente foram de sulfentrazone 3,38 ng g⁻¹ e de diuron de 0,52 ng g⁻¹, que causaram sintomas leves (<10%) de fitotoxicidade, sem prejudicar significativamente a produtividade do milho.

4.3.1 Correlação entre a concentração de diclosulam no solo e o efeito de fitotoxicidade no sorgo

Na cultura do sorgo aos 28 DAE observa-se que diclosulam 35 g i.a. ha⁻¹ foi seletivo quando aplicado em solo argiloso aos 120 DAP, evidenciando ser um período seguro para a implantação da cultura em sucessão ao ciclo da soja. Neste período foi encontrado na solução do solo 0,04 ng g⁻¹ de diclosulam (Figura 16).

Aos 90 e 60 dias anteriores ao plantio, foram observados sintomas leves de fitotoxicidade, sendo menores que 8,8% (Tabela 14) para o herbicida diclosulam 35 g i.a. ha⁻¹. Foram detectadas na solução do solo concentrações de 0,09 e 0,10 ng g⁻¹ de solo de diclosulam (Figura 16) aos 90 e 60 DAP.

O herbicida diclosulam 35 g i.a. ha⁻¹ aplicado aos 30 DAP apresentou fitotoxicidade moderada de 15% aos 28 DAE (Tabela 14). Na amostra coletada neste período, foi detectado concentração de 0,33 ng g⁻¹ de solo de diclosulam (Figura 16).

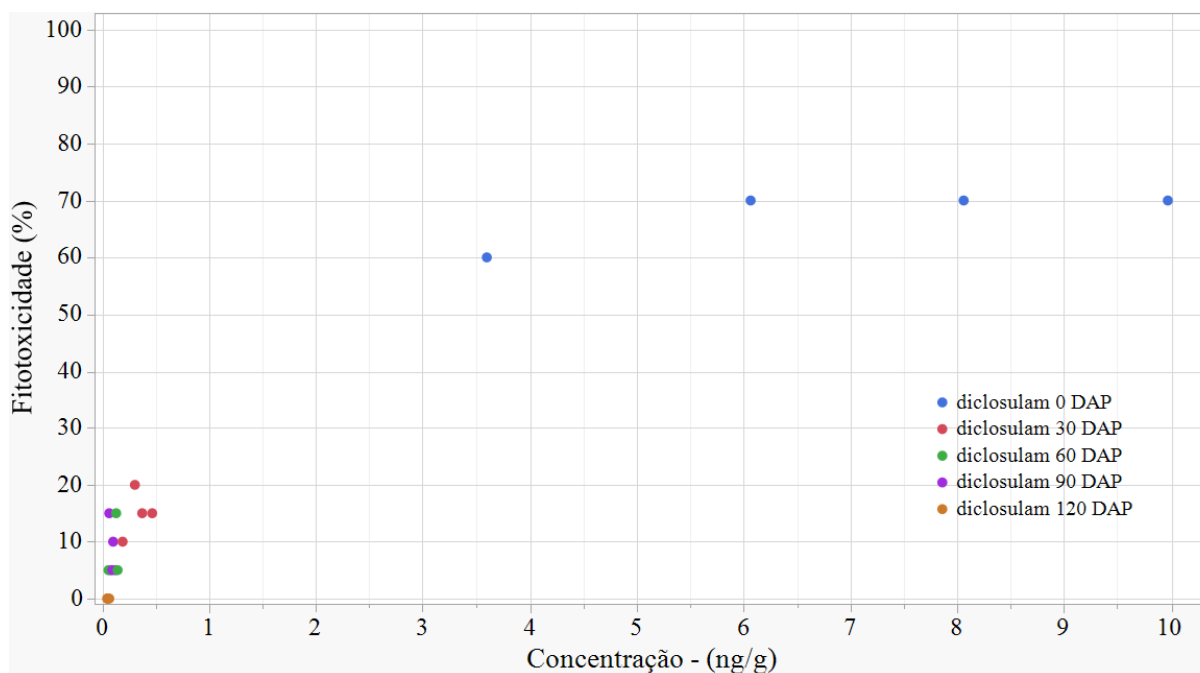


Figura 16. Porcentagem de fitotoxicidade das plantas de sorgo em função da concentração do herbicida diclosulam em solo argiloso (ng g⁻¹ de solo).

Foi observado acentuado efeito de fitotoxicidade com a aplicação do herbicida no dia da semeadura. As concentrações observadas de diclosulam no solo neste período foi de 6,92 ng g⁻¹ de solo, e a fitotoxicidade observada foi superior a 60% (Figura 16). Os sintomas variaram

de pequenas manchas cloróticas nas folhas localizadas próximo ao meristema apical e nos casos mais graves estrias, seguida de necrose, redução de porte e morte de plantas. Sintomatologia semelhante foi observada por Dan et al. (2010) e Dan et al. (2011b) ao avaliarem os efeitos de imidazolinonas na cultura do sorgo e milho.

Os sintomas nas plantas de sorgo, que se tornaram visíveis aos 7 e aos 28 dias após a emergência, incluem paralisação do crescimento, amarelecimento dos meristemas e redução do sistema radicular, com as raízes secundárias apresentando-se uniformemente curtas e grossas.

Em pesquisa sobre a atividade residual de herbicidas utilizados no controle de plantas daninhas na cultura da soja para avaliar seus efeitos no sorgo granífero cultivado em sucessão à cultura da soja em solo de textura média, Dan et al. (2010) encontraram que os resíduos do herbicida diclosulam na dose de 35 g i.a. ha⁻¹, causaram clorose nas plantas de sorgo aos 28 dias após a emergência (DAE). Outro resultado interessante da pesquisa diz respeito aos efeitos negativos causados pelo diclosulam no acúmulo de fotoassimilados que refletiram na produtividade da cultura do sorgo, quando a cultura foi semeada 115 dias após a aplicação do herbicida proporcionando uma redução de aproximadamente 334 kg ha⁻¹ em relação a testemunha.

Tabela 14. Fitotoxicidade (%) e rendimentos de grãos do sorgo Variedade BM 737 cultivada no campo em solo argiloso e submetida a aplicação de diclosulam em diferentes doses, e em diferentes épocas. Iracemápolis - SP, 2019.

Tratamento	Épocas	dose (g i.a. ha ⁻¹)	Fitointoxicação (%)			Rendimento (kg ha ⁻¹)
			7 DAE ⁴	15 DAE	28 DAE	
testemunha capinada	-	-	0,0	0,0	0,0	3933,7 a
diclosulan	120 DAP ¹	35	0,0 c	0,0 c	0,0 d	3593,5 a
diclosulan	90 DAP	35	3,8 c	17,5 b	8,8 bc	3408,0 a
diclosulan	60 DAP	35	5,0 c	13,8 b	5,0 cd	3412,9 a
diclosulan	30 DAP	35	18,8 b	22,5 b	15,0 b	3232,2 a
diclosulan	0 DAP	35	35,0 a	81,3 a	67,5 a	2226,4 b
CV ³ (%)			25,56	21,58	20,0	13,12

¹DAP - Dias anteriores ao plantio, ²médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, ³CV – coeficiente de variação, ⁴DAE - Dias após a emergência do sorgo

Resíduos do herbicida diclosulam 35 g.i.a ha⁻¹, em períodos superiores a 30 DAP não foram suficientes para promover redução significativa de produtividade do sorgo cultivar BM 737 em solo argiloso. No entanto, quando aplicado no dia da semeadura, o herbicida causou

redução significativa de produtividade de 1707,3 kg ha⁻¹ (redução de 43,4%) em relação a testemunha. (Tabela 14).

Considerando a dose de diclosulam 35 g i.a. ha⁻¹, não apresentar diferenças significativas de produtividade nos períodos superiores a 60 dias após a aplicação, pode-se concluir mesmo que na presença de sintomas leves (<8,8%) observado aos 28 DAE (Figura 14), nas plantas de sorgo da cultivar BM 737, pode-se realizar o plantio desta cultura em sucessão à soja respeitando o período de 60 dias após aplicado em solo argiloso e a quantidade tolerada pela cultura deste herbicida na solução do solo foi de 0,10 ng g⁻¹ de solo de diclosulam.

Foi observado maior fitotoxidez ao sorgo na área cultivada em solo arenoso (Figura 17) quando comparado com o solo argiloso (Figura 16). Observa-se para o herbicida diclosulam 35 g i.a. ha⁻¹ aos 120 DAP, fitotoxicidade moderada de 16,3% aos 28 DAE (Tabela 15) e foram detectadas nas análises de cromatografia de solo neste período concentração de 0,06 ng g⁻¹ de solo (Figura 17).

Aos 90 e 60 DAP, foram detectadas nas análises de cromatografia de solo concentrações de diclosulam de 0,07 e 0,08 ng g⁻¹ de solo respectivamente, correspondendo a sintomas mais acentuados de fitotoxicidade com índices de 27,5% e 38,7% respectivamente (Tabela 15).

Aos 30 DAP, o herbicida diclosulam 35 g i.a. ha⁻¹ provocou efeitos elevados de fitotoxicidade de 60% aos 28 DAE (Tabela 15), nesse período, foi detectado concentração de diclosulam de 0,40 ng g⁻¹ de solo (Figura 17).

Com a aplicação de diclosulam no momento do plantio do sorgo foi observada concentrações de 5,21 ng g⁻¹ de solo, contribuindo em uma elevada fitotoxicidade de 81,3% (Tabela 15). Os sintomas, incluíram na paralisação do crescimento, amarelecimento dos meristemas e morte de plantas.

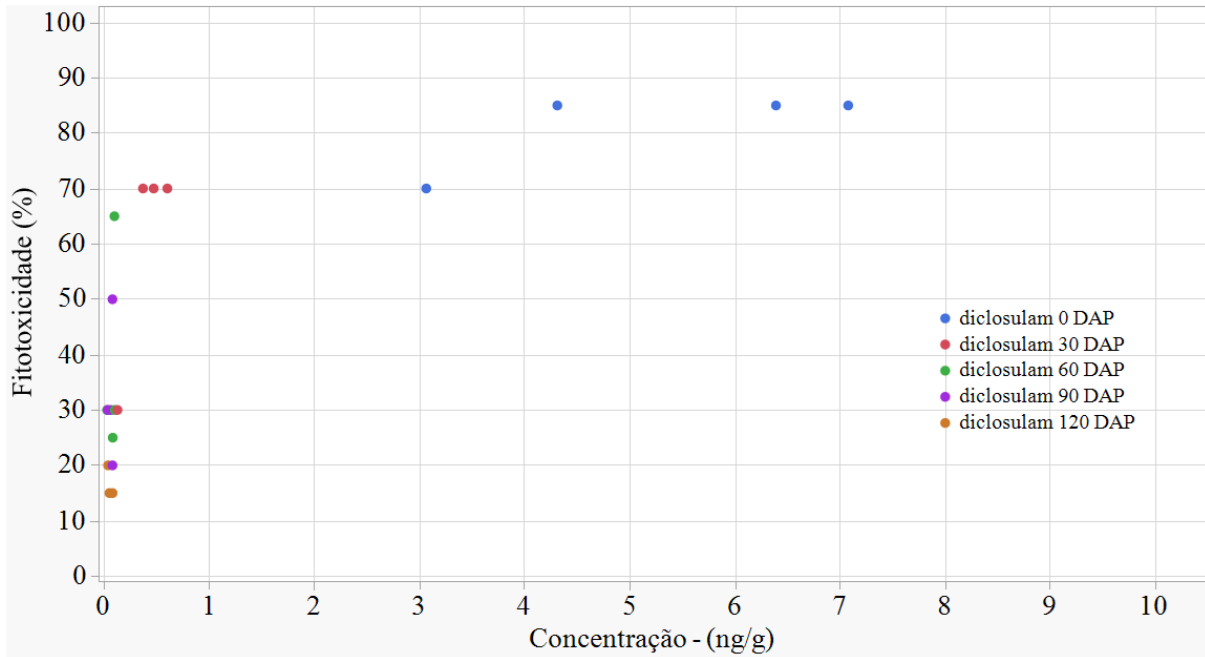


Figura 17. Porcentagem de fitotoxidade das plantas de sorgo em função da concentração do herbicida diclosulam em solo arenoso (ng g^{-1} de solo).

A aplicação do diclosulam, quando comparada com a de outros herbicidas, ocorre em doses muito baixas, variando de 25 a 35 g i.a. ha^{-1} , quando se aplica em pré-emergência ou em pré-plantio incorporado na soja, e não se recomenda o plantio de sorgo em sucessão (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018).

Em plantas sensíveis a enzima ALS, presente em sua maior parte em partes jovens das plantas, o crescimento é atrasado ou interrompido em algumas horas e a morte das plantas ocorre em algumas semanas (LEITE et al., 1998). Os sintomas de clorose, murcha, necrose e morte levam alguns dias para ocorrer e iniciam-se nos tecidos meristemáticos das plantas (LEITE et al., 1998). O arroxamento na região abaxial das folhas, que em geral aparece nas nervuras, ocorre em sequência quando os sintomas atingem o restante da planta levando a abscisão das folhas afetadas (LEITE et al., 1998).

Verifica-se através da Tabela 15 que a aplicação do diclosulam levou a sintomas menores que 20% de intoxicação visual aos 7 dias após a emergência do sorgo (DAE), em todos os períodos aplicados. No entanto, aos 15 DAE, a fitotoxidade evoluiu consideravelmente para os períodos aplicados.

Tabela 15. Fitotoxicidade (%) e rendimentos de grãos do sorgo Variedade BM 737 cultivada no campo em solo arenoso e submetida a aplicação de diclosulam em diferentes doses, e em diferentes épocas. Botucatu - SP, 2019.

Tratamento	Épocas	dose (g i.a. ha ⁻¹)	Fitointoxicação (%)			Rendimento (kg ha ⁻¹)
			7 DAE ⁴	15 DAE	28 DAE	
testemunha capinada	-	-	0,0	0,0	0,0	3909 a
diclosulan	120 DAP ¹	35	6,2 b	16,2 d	16,3 d	3335 ab
diclosulan	90 DAP	35	20,0 a	35,0 c	27,5 cd	3018 b
diclosulan	60 DAP	35	18,7 a	57,5 b	38,7 c	2297 c
diclosulan	30 DAP	35	20,0 a	60,0 ab	60 b	2143 c
diclosulan	0 DAP	35	20,0 a	72,5 a	81,3 a	1244 d
CV ³ (%)			23,25	11,89	19,65	11,1

¹DAP - Dias anteriores ao plantio, ²médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, ³CV – coeficiente de variação, ⁴DAE - Dias após a emergência do sorgo

De modo geral, resíduos do herbicida diclosulam 35 g i.a. ha⁻¹ em solo arenoso, apresentou redução significativa de produtividade de 891 kg ha⁻¹ (redução de 22,8%), quando pulverizado aos 90 DAP, quando comparado com a testemunha. Quando aplicado diclosulam 35 g i.a. ha⁻¹ no momento da semeadura, a redução de produtividade foi de 2665 kg ha⁻¹ (redução de 68%) quando comparado com a testemunha (Tabela 15).

Dessa forma, deve-se respeitar um período de 60 dias entre a aplicação de diclosulam na dose de 35 g i.a ha⁻¹ para a implantação do sorgo em solo argiloso sendo que a quantidade tolerada pela cultura deste herbicida na solução do solo foi de 0,10 ng g⁻¹ de diclosulam. Por outro lado, deve-se evitar o plantio de sorgo em áreas de solo arenoso, pois não foi possível determinar o período seguro nesta pesquisa.

4.3.2 Correlação entre a concentração de diclosulam no solo e o efeito de fitotoxicidade no feijão

O diclosulam aplicado na dose de 35 g i.a. ha⁻¹ aos 120 dias antes da semeadura do feijão (IAC Imperador) em solo argiloso foi seletivo à cultura, não apresentando sintomas de fitotoxicidade. Nesse período foi detectado concentrações baixas de diclosulam de 0,05 ng g⁻¹ de solo (Figura 18).

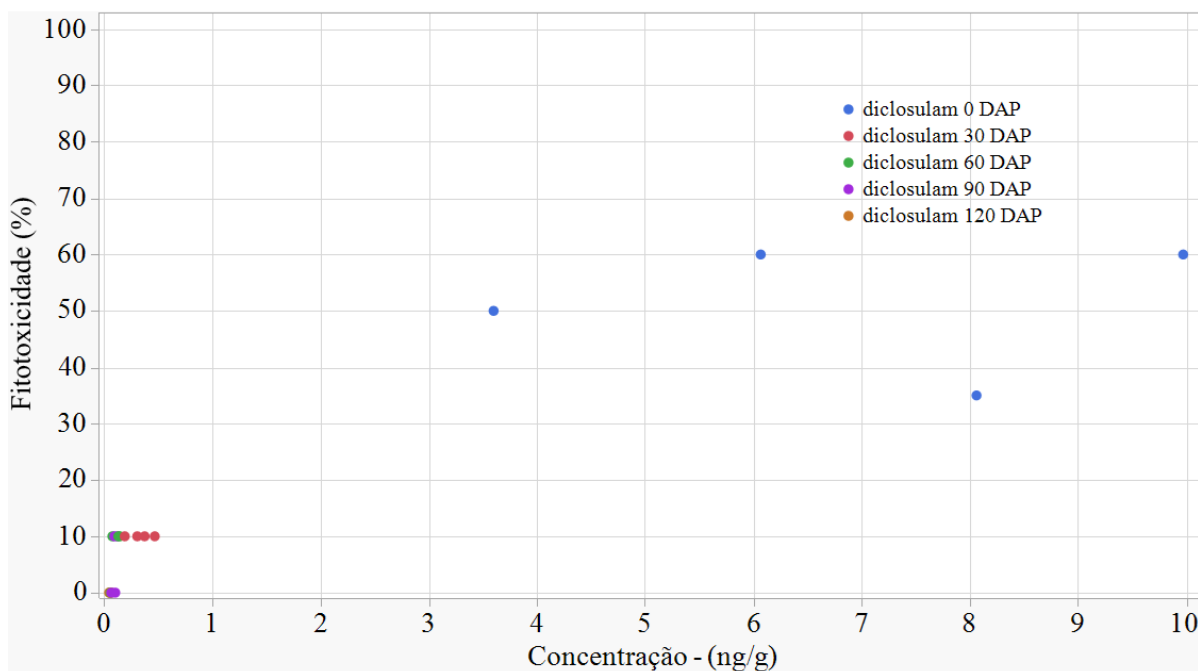


Figura 18. Porcentagem de fitotoxicidade das plantas de feijão em função da concentração do herbicida diclosulam em solo argiloso (ng g^{-1} de solo) aos 28 dias após a emergência.

Nos períodos de 30, 60 e 90 DAP, foi observado sintomas leves de fitotoxicidade à cultura do feijão, de apenas 10, 7,5 e 5,0% respectivamente, avaliado aos 28 dias após a emergência (Tabela 16). Aos 30 DAP foi observado concentração de diclosulam na solução do solo de $0,33 \text{ ng g}^{-1}$ de solo (Figura 18) sendo, portanto considerado tolerado pela cultura.

No momento da semeadura em solo argiloso, o herbicida diclosulam, resultou em elevada (51,3%) fitotoxicidade nas plantas de feijão aos 28 DAE, reduzindo significativamente a produtividade (redução de 45%) quando comparado à testemunha (Tabela 16). Nesse período, foi detectado concentração de diclosulam de $6,92 \text{ ng g}^{-1}$ de solo (Figura 18).

Há poucos estudos na literatura com os herbicidas avaliados, desse modo serão apresentados alguns trabalhos que corroboram com resultados encontrados no presente ensaio. Lamego et al. (2011) verificaram alta fitotoxicidade para imazapic ($105 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) herbicida do mesmo mecanismo de ação que o diclosulam (ALS), quando utilizado em pré-emergência na cultura do feijão na cultivar Jalo Precoce, influenciando a produtividade. Segundo Gonçalves et al (2001), o herbicida imazapir, de mesmo mecanismo de ação que o diclosulam (ALS), diminuiu a produtividade do feijoeiro mesmo quando aplicado até 98 dias após a sua aplicação.

Tabela 16. Fitotoxicidade (%) e rendimentos de grãos do feijão cultivar IAC-Imperador cultivada no campo em solo argiloso e submetida a aplicação de diclosulam em diferentes doses, e em diferentes épocas. Iracemápolis - SP, 2019.

Tratamento	Épocas	dose (g i.a. ha ⁻¹)	Fitointoxicação (%)			Rendimento (kg ha ⁻¹)
			7 DAE ⁴	15 DAE	28 DAE	
testemunha capinada	-	-	0,0	0,0	0,0	2068 a
diclosulan	120 DAP ¹	35	0,0 d	0,0 c	0,0 a	1988 a
diclosulan	90 DAP	35	5,0 c	8,8 b	5,0 a	1760 ab
diclosulan	60 DAP	35	10,0 b	12,5 b	7,5 a	1728 ab
diclosulan	30 DAP	35	10,0 b	15,0 b	10,0 b	1689 ab
diclosulan	0 DAP	35	21,3 a	33,8 a	51,3 a	1121 b
CV ³ (%)			12,09	20,88	37,13	18,7

¹DAP - Dias anteriores ao plantio, ²médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, ³CV – coeficiente de variação, ⁴DAE - Dias após a emergência do feijão

Na figura 19 estão apresentados os resultados de fitotoxicidade obtidos na avaliação realizada aos 28 DAE da cultura do feijão em função da concentração do herbicida diclosulam (ng g⁻¹ de solo), em solo arenoso. Observa-se para a cultura, na aplicação de 120 dias anteriores à sementeira do feijão, provocou sintomas leves (10%) de fitotoxicidade observado aos 28 DAE, com concentrações biodisponível do diclosulam de 0,06 ng g⁻¹ de solo (Figura 19).

A aplicação de diclosulam aos 90 DAP do feijão (IAC Imperador) apresentou sintomas de fitotoxicidade moderados com 15%, observados aos 28 DAE em solo arenoso (Tabela 17). Nesse período foi detectado na solução do solo concentração de diclosulam de 0,07 ng g⁻¹ de solo (Figura 19). O diclosulam apresenta tempo de meia-vida de 67 dias em áreas cultivadas em sistema de plantio direto e de 87 dias em solos cultivados de modo convencional (LAVORENTI et al., 2003).

Aos 30 e 60 DAP foi observado sintomas consideráveis de fitotoxicidade na cultura do feijão, com valores de 28,8 e 25% aos 28 dias após a emergência, respectivamente (Tabela 17). Foram detectados aos 30 DAP concentrações do herbicida diclosulam de 0,40 ng g⁻¹ de solo. No momento da sementeira em solo arenoso, o herbicida diclosulam, causou elevada fitotoxicidade (55%) nas plantas de feijão. Nesse período, foi detectado nas análises cromatográficas concentrações de diclosulam de 5,12 ng g⁻¹ de solo (Figura 19).

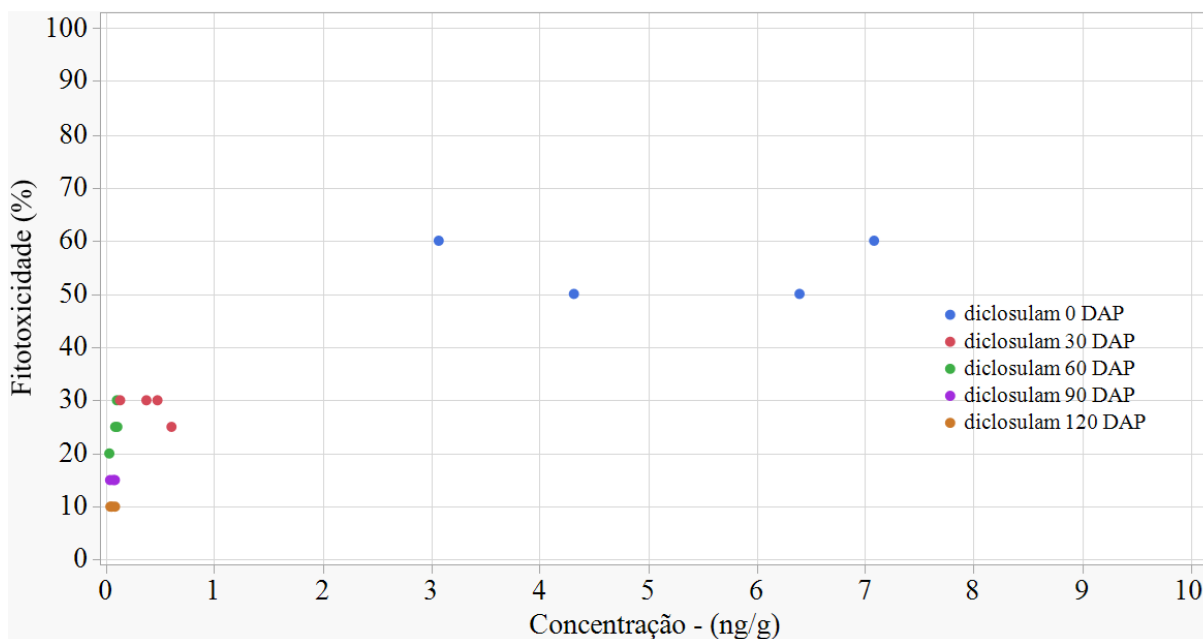


Figura 19. Porcentagem de fitotoxicidade das plantas de feijão em função da concentração do herbicida diclosulam em solo arenoso (ng g^{-1} de solo) aos 28 dias após a emergência.

Resíduos do herbicida diclosulam ($35 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) quando pulverizados aos 90 DAP apresentou redução significativa de produtividade de 379 kg ha^{-1} (redução de 25,4%) quando comparado com a testemunha. Quando aplicado diclosulam no momento da semeadura a redução de produtividade foi maior com 866 kg ha^{-1} (redução de 58%) (Tabela 17).

Tabela 17. Fitotoxicidade (%) e rendimentos de grãos do feijão cultivar IAC Imperador cultivada no campo em solo arenoso e submetida a aplicação de diclosulam em diferentes doses, e em diferentes épocas. Botucatu - SP, 2019.

Tratamento	Épocas	dose (g i.a. ha^{-1})	Fitointoxicação (%)			Rendimento (kg ha^{-1})
			7 DAE ⁴	15 DAE	28 DAE	
testemunha capinada	-	-	0,0	0,0	0,0	1493 a
diclosulan	120 DAP ¹	35	7,5 c	8,7 c	10,0 c	1369 ab
diclosulan	90 DAP	35	7,5 c	11,3 bc	15,0 c	1114 bc
diclosulan	60 DAP	35	8,8 c	16,2 bc	25,0 b	825 cd
diclosulan	30 DAP	35	15,0 b	17,5 b	28,8 b	883 cd
diclosulan	0 DAP	35	30,0 a	47,5 a	55,0 a	627 d
		CV ³ (%)	15,57	18,17	13,44	12,9

¹DAP - Dias anteriores ao plantio, ²médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, ³CV - coeficiente de variação, ⁴DAE - Dias após a emergência do feijão

Segundo os autores Marchioretto et al (2017), foi observado elevada fitotoxicidade sobre as cultivares de feijão IPR Uirapuru e BRS Estilo, quando aplicado diclosulam 35 g. i.a. ha⁻¹, em pós-emergência da cultura. No entanto, o diclosulam quando aplicado em pré-emergência é absorvido pela radícula e pelo caulículo das plântulas em germinação demonstrando os resultados observados de fitotoxicidade do feijão quando aplicado anterior ao plantio da cultura.

Sikkema et al. (2004) constataram que a aplicação de imazetapir, herbicida do mecanismo de ação do diclosulam, em pré-plantio incorporado (PPI) em área cultivada com feijão causou 7% de injúria visual e reduziu a altura de plantas, a massa seca da parte aérea, e a produtividade de grãos em 8, 18 e 12% na dose de 75 g ha⁻¹ e 19, 38 e 27%, na dose de 150 g ha⁻¹, respectivamente.

Dessa forma, para diclosulam 35 g i.a. ha⁻¹ deve-se respeitar um período de 30 dias entre a aplicação e a semeadura do feijoeiro em solo argiloso, sendo que a quantidade máxima tolerada pela cultura deste herbicida na solução do solo foi de 0,33 ng g⁻¹ de diclosulam. Em solo arenoso deve-se respeitar um período de 120 dias para a implantação do feijoeiro, sendo que as baixas concentrações detectadas na solução do solo de 0,06 ng g⁻¹ de diclosulam foram suficientes para apresentar sintomas leves de fitotoxicidade (10%).

4.3.3 Correlação entre a concentração de diclosulam no solo e o efeito de fitotoxicidade no milho

Na figura 20 são apresentados os resultados de fitotoxicidade obtidos nas avaliações realizadas aos 28 DAE da cultura do milho, em função da concentração do herbicida diclosulam (ng g⁻¹ de solo), em solo argiloso. Na Tabela 18 observa-se a fitotoxicidade nos diferentes períodos da aplicação (120, 90, 60, 30 e 0 DAP) e os diferentes momentos das avaliações 7, 15 e 28 dias após a emergência (DAE) e o rendimento de grãos dos tratamentos.

O herbicida diclosulam na dose de 35 g i.a. ha⁻¹, aos 120 dias antes da semeadura do milho (DKB 290 PRO 3), não provocou fitotoxicidade. Sendo, portanto, um período seguro para a implantação do milho em solo argiloso. Nesse período a maior concentração de diclosulam detectado foi de 0,05 ng g⁻¹ de solo (Figura 20).

Esse resultado diverge dos obtidos por Dan et al. (2011), que ao estudar o efeito residual de diclosulam em solo argiloso, observaram fitotoxicidade de 13,2% aos 7 dias após a emergência do milho da cultivar 30K75Y, semeado 115 dias em sucessão à soja. Porém, é

preciso considerar diferenças quanto ao híbrido estudado e condições de clima e solo do local do experimento.

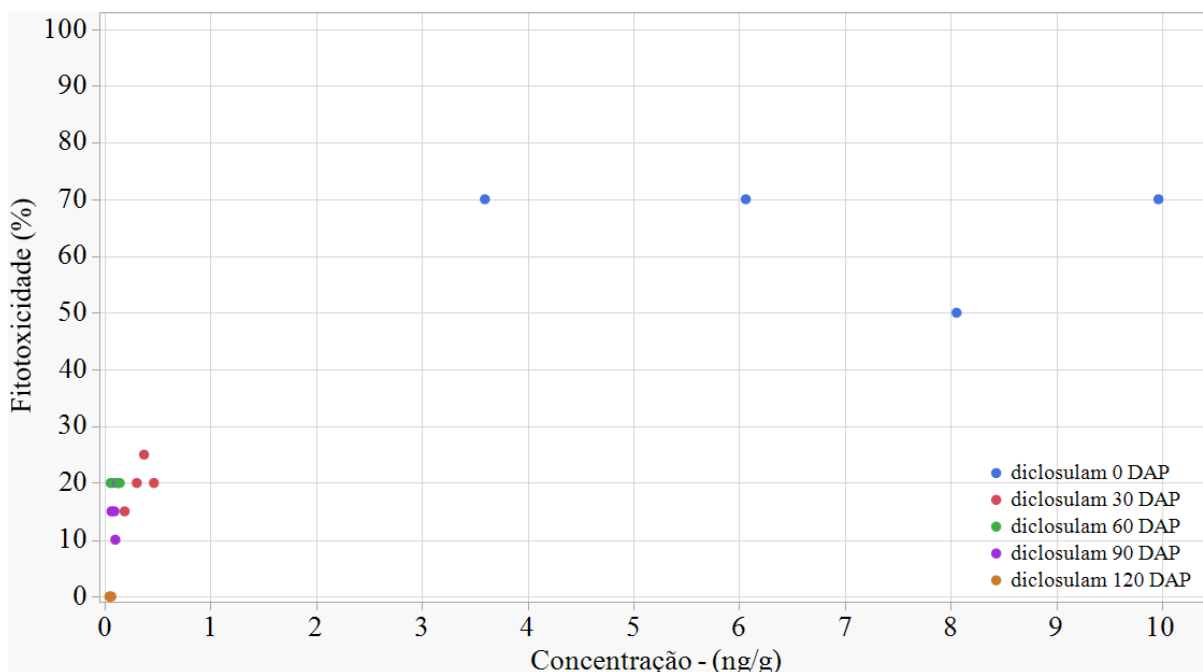


Figura 20. Porcentagem de fitotoxicidade das plantas de milho em função da concentração do herbicida diclosulam em solo argiloso (ng g^{-1} de solo).

Com a semeadura aos 90 e 60 DAP, foi observado o início dos sintomas de fitotoxicidade, sendo menores que 21,3% (Tabela 18). Resultados semelhantes foram encontrados por Artuzi e Contiero (2006) que relataram que, a partir de 90 dias após a aplicação de diclosulam na dose de $33,6 \text{ g i.a ha}^{-1}$ em solo argiloso, as plantas de milho apresentaram dano provocado pelo herbicida. Neste experimento, aos 90 DAP a concentração do herbicida diclosulam encontrada na solução do solo foi de $0,09 \text{ ng g}^{-1}$ de solo (Figura 20).

Aos 0 DAP, foram detectadas concentração de $6,92 \text{ ng g}^{-1}$ de solo, suficientes para causar fitotoxicidade de 67,5% observada aos 28 DAE (Figura 20). Sintomas como arroxamento na base da nervura central das folhas e na base da planta foram os principais efeitos. Sintomatologia semelhante foi observada por Artuzi e Contiero (2006), Dan et al. (2010) e Dan et al. (2011b) ao avaliarem os efeitos de imidazolinonas na cultura do milho, sorgo e milheto, respectivamente.

A aplicação do diclosulam, quando comparada com a de outros herbicidas, ocorre em doses muito baixas, variando de 25 a 35 g i.a ha^{-1} , quando se aplica em pré-emergência ou em

pré-plantio incorporado na soja, e não se recomenda o plantio de milho em sucessão (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). De acordo com Yoder et al. (2000), a aplicação desse herbicida na soja poderia vir a causar injúrias em culturas subsequentes, como o milho.

Tabela 18. Fitotoxicidade (%) e rendimentos de grãos de milho cultivar DKB 290 PRO 3 cultivada no campo em solo argiloso e submetida a aplicação de diclosulam em diferentes doses, e em diferentes épocas. Iracemápolis - SP, 2019.

Tratamento	Épocas	dose (g i.a. ha ⁻¹)	Fitointoxicação (%)		
			7 DAE ⁴	15 DAE	28 DAE
testemunha capinada	-	-	0,0	0,0	0,0
diclosulan	120 DAP ¹	35	0,0 d	0,0 c	0,0 c
diclosulan	90 DAP	35	20,0 c	15,0 b	8,8 c
diclosulan	60 DAP	35	21,3 c	18,8 b	10,0 c
diclosulan	30 DAP	35	30,0 b	20,0 b	23,8 b
diclosulan	0 DAP	35	58,8 a	65,0 a	67,5 a
		CV ³ (%)	9,77	21,57	26

¹DAP - Dias anteriores ao plantio, ²médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, ³CV – coeficiente de variação, ⁴DAE - Dias após a emergência do milho

A aplicação de diclosulam na dose de 35 g i.a. ha⁻¹, em solo arenoso aos 120 dias antes da semeadura do milho (DKB 290 PRO 3) provocou sintomas leves de fitotoxicidade de 10,0% aos 28 DAE (Tabela 19). Nesse período foi detectado concentração de diclosulam no solo de 0,06 ng g⁻¹ de solo (Figura 21).

Aos 90 DAP, o herbicida diclosulam, resultou em sintomas de fitotoxicidade moderados de 16,3 % avaliado aos 28 DAE (Tabela 19), com concentração de diclosulam no solo de 0,07 ng g⁻¹ de solo (Figura 21), ocorrendo redução de produtividade em relação à testemunha (Tabela 19).

Aos 30 DAP o diclosulam (35 g i.a. ha⁻¹) causou sintomas de fitotoxicidade elevados de 47,5% observados aos 28 DAE (Tabela 19), com concentração de diclosulam no solo de 0,40 ng g⁻¹ de solo (Figura 21), ocorrendo redução de produtividade em relação à testemunha (Tabela 19).

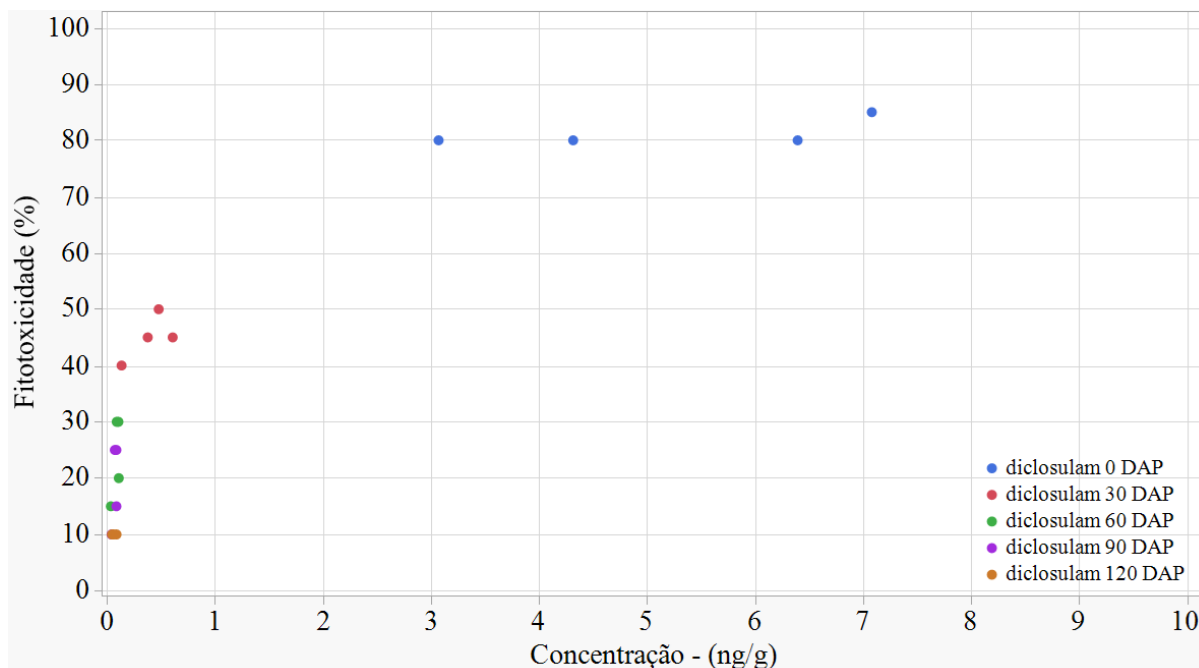


Figura 21. Porcentagem de fitotoxicidade das plantas de milho em função da concentração do herbicida diclosulam em solo arenoso (ng g^{-1} de solo).

Quando aplicado diclosulam no momento da semeadura em solo arenoso, resultou em sintomas elevados de fitotoxicidade nas plantas de milho, observados aos 7 dias após a emergência com 22,5 % e evoluindo para 85% aos 28 dias após a emergência (Tabela 19). Neste período foi detectado na solução do solo do herbicida diclosulam na concentração de 5,21 ng g^{-1} de solo (Figura 21).

Tabela 19. Fitotoxicidade (%) e rendimentos de grãos da cultura do milho do híbrido DKB 290 PRO 3, cultivada no campo em solo arenoso e submetida a aplicação de diclosulam em diferentes épocas. Botucatu - SP, 2019.

Tratamento	Épocas	dose (g i.a. ha ⁻¹)	Fitointoxicação (%)			Rendimento (kg ha ⁻¹)
			7 DAE ⁴	15 DAE	28 DAE	
testemunha capinada	-	-	0,0	0,0	0,0	5533,5 a
diclosulan	120 DAP ¹	35	8,0 c	8,8 d	10,0 c	4812 ab
diclosulan	90 DAP	35	11,3 bc	17,5 cd	16,3 c	4611 b
diclosulan	60 DAP	35	13,8 bc	27,5 bc	28,8 bc	4169 bc
diclosulan	30 DAP	35	15,0 b	37,5 b	47,5 b	3441 c
diclosulan	0 DAP	35	22,5 a	70,0 a	85,0 a	1736 d
CV ³ (%)			20,87	16,51	26,54	8,26

¹DAP - Dias anteriores ao plantio, ²médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, ³CV – coeficiente de variação, ⁴DAE - Dias após a emergência do milho

Resíduos do herbicida diclosulam (35 g i.a. ha⁻¹) em solo arenoso aplicado aos 90 DAP, promoveram redução significativa de produtividade sendo de 922,5 kg ha⁻¹ (redução de 16,7%) em relação a testemunha. No momento da semeadura, a redução de produtividade foi maior, sendo de 3797,5 kg ha⁻¹ (redução de 68,6%) (Tabela 19).

De acordo com Dan et al. (2012), o herbicida diclosulam aplicado no cultivo de soja na dose de 35 g. i.a. ha⁻¹, reduziu o crescimento e o rendimento de grãos de milho em 5,2% e 1013 kg ha⁻¹, respectivamente. Por outro lado, Pereira et al. (2000), ao estudar o efeito residual de diclosulam em solo arenoso, não observaram sintomas de fitotoxicidade sobre o milho semeado em sucessão à soja. De acordo com Brighenti et al. (2002), esse herbicida apresenta efeito residual longo e pode, dependendo das condições climáticas e de solo, prejudicar culturas em sucessão, tal como ocorreu nesta pesquisa.

Dessa forma, para diclosulam 35 g i.a. ha⁻¹ deve-se respeitar um período de 120 dias entre a aplicação e a semeadura do milho em solo argiloso e em solo arenoso, sendo que a quantidade máxima tolerada pela cultura deste herbicida na solução do solo neste período foi de 0,05 e 0,06 ng g⁻¹ de diclosulam respectivamente.

5 CONCLUSÃO

Os resultados mostraram evidências que os herbicidas sulfentrazone associado com diuron e o diclosulam utilizados na aplicação em pré-emergência da cultura da soja, podem apresentar riscos para as culturas de sorgo, feijão e milho plantados em sucessão no período da safrinha, principalmente em solo arenoso.

Para a mistura formulada de sulfentrazone (245 g i.a. ha⁻¹) + diuron (490 g i.a. ha⁻¹), são necessários 120 dias entre a aplicação e a semeadura do sorgo em solo argiloso e em solo arenoso. As concentrações dos herbicidas na solução do solo neste período foram de 2,91 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,34 ng g⁻¹ de diuron em solo argiloso e de 1,85 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,36 ng g⁻¹ de diuron em solo arenoso.

Para o feijão deve-se respeitar um período de 60 dias em solo argiloso, sendo as concentrações encontradas na solução do solo de 4,70 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,89 ng g⁻¹ de diuron e 120 dias para o solo arenoso com concentrações de 1,85 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,36 ng g⁻¹ de diuron.

O milho, pode ser semeado em um período após 30 dias em solo argiloso, com concentrações aceitáveis na solução do solo de 5,91 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,48 ng g⁻¹ de diuron e 60 dias no solo arenoso, nas concentrações detectadas de 3,38 ng g⁻¹ de sulfentrazone e de 0,52 ng g⁻¹ de diuron.

Os tratamentos que apresentaram maior índice de fitotoxicidade nos experimentos no sorgo, milho e feijão foram aqueles com o dobro da dose recomendada de sulfentrazone (490 g i.a. ha⁻¹) + diuron (980 g i.a. ha⁻¹).

Para o herbicida diclosulam (35 g i.a. ha⁻¹), são necessários 60 dias entre a aplicação e a semeadura do sorgo em solo argiloso. A concentração do herbicida na solução do solo neste período foi de 0,10 ng g⁻¹ de diclosulam. Em solo arenoso deve-se aguardar períodos maiores que 120 dias entre a aplicação do diclosulam e a semeadura do sorgo.

Para o feijão deve-se respeitar um período de 30 dias em solo argiloso, sendo as concentrações encontradas na solução do solo de 0,33 ng g⁻¹ de diclosulam e 120 dias para o solo arenoso com concentração de 0,06 ng g⁻¹ de diclosulam.

O milho, pode ser semeado em um período de 120 dias entre a aplicação e a semeadura do milho em solo argiloso e em solo arenoso, sendo que a quantidade máxima tolerada pela

cultura deste herbicida na solução do solo neste período foi de 0,05 e 0,06 ng g⁻¹ de diclosulam respectivamente.

Dessa forma, o período que compreende entre a aplicação dos herbicidas e o plantio do sorgo, milho e feijão, bem como a disponibilidade hídrica e as características dos solos são fundamentais para o sucesso da implementação da rotação de culturas. Todavia, por prudência e segurança deve-se realizar o correto posicionamento dos herbicidas considerando o ambiente de produção e a calibração do equipamento de aplicação, de modo a evitar problemas de sobreposição dos herbicidas no solo.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT – **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. 2021. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em 10 de junho de 2021.
- ALONSO, D.G.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R.S.; KOSKINEN, W.C.; OLIVEIRA NETO, A.M.; DAN, H.A. & GUERRA, N., **Carryover potencial of herbicides used for Conyza sp. control**. In: Proceedings of 2011 Weed Science Society of America Annual Meeting. Portland, USA: Weed Science Society of America, p. s.p., 2011.
- ALONSO, D.G.; OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; **Potencial de carryover de herbicidas com atividade residual usados com solo no manejo outonal**. Buva conceitos e recomendações para o manejo. Curitiba, PR. Omnipax, 104 p. 2013.
- ALMEIDA FILHO J.E.; TARDIN F.D.; SOUZA S.A.; GODINHO V.P.C.; CARDOSO M.J.; **Desempenho agrônômico e estabilidade fenotípica de híbridos de sorgo granífero**. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.9, o.51-64, 2010.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. rev. Campinas: IAC, 1997. p.189-203. (Boletim técnico, 100).
- ARTUZI, J.P.; CONTIERO, R.L. Herbicidas aplicados na soja e produtividade do milho em sucessão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.2, p.1119-1123, 2006.
- ASSEFA Y., STAGGENBORG S.A; PRASAD V.P.V. **Grain Sorghum Water Requirement and Responses to Drought Stress**. A Review. Crop Management, 9, 2010.
- BACHEGA, T.F.; PAVANI, M.C.M.D.; ALVES, P.L.C.A.; SAES, L.P.; BOSCHIERO, M. **Lixiviação de sulfentrazone e amicarbazone em colunas de solo com adição de óleo mineral**. Planta daninha, p. 363-370, 2009.
- BAKER, N.R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.89-113, 2008.
- BAYLIS, A. D. **Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects**. Pest Management Science, v.56, p.299- 308, 2000.
- BICALHO, S.T.T.; LANGENBACH, T.; RODRIGUES, R.R.; CORREIA, F.V.; HAGLER, A.N.; MATALLO, M.B.; LUCHINI, L.C. **Herbicide distribution in soils of a riparian forest and neighboring sugar cane field**. Geoderma, v.158, n.2010, p. 392–397, 2010.

BLANCO, H. G. **Destino, comportamento e resíduos de herbicidas no solo.** *O Biológico*, v. 45 n. 11/12 p. 225-48, 1979.

BLANCO, F.M.G. **Controle das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar.** In: REUNIÃO ITINERANTE DE FITOSSANIDADE DO INSTITUTO BIOLÓGICO, 9., 2003, Catanduva. *Anais...* Catanduva: Instituto Biológico, 2003. p. 83-89.

BLANCO, F. M. G.; VELINI, E. D. **Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com soja e seu efeito em culturas sucedâneas.** *Planta Daninha*, v. 23, n. 4, p. 693-700, 2005

BLANCO, F. M. G.; VELINI, E. D.; BATISTA FILHO, A. **Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com cana-de-açúcar.** *Bragantia*, v. 69, n. 1, p. 71-75, 2010.

BORGATO, E. A. **Identificação de *Amaranthus palmeri*, caracterização da resistência múltipla a herbicidas inibidores da ALS e da EPSPS e controle químico baseado no uso das novas tecnologias transgênicas.** 2018. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BRIGHENTI, A.M. et al. **Persistência e fitotoxicidade do herbicida atrazine aplicado na cultura do milho sobre a cultura do girassol em sucessão.** *Planta Daninha*, v.20, n.2, p.291-297, 2002.

BRUM, C, S.; FRANCO, A. A.; SCORZA JUNIOR, R. P. **Degradação do herbicida sulfentrazone em dois solos de Mato Grosso do Sul.** *Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.17, n.5, pp. 558-564, 2013.

BRUSAMARELLO, Antonio Pedro *et al.* **Tolerance of Brazilian bean cultivars to protoporphyrinogen oxidase inhibiting-herbicides.** *Journal of Plant Protection Research*, 2021.

BRUSSEAU, M. L.; RAO, P. S. C. **The influence of sorbate organic matter interactions in sorption nonequilibrium.** *Chemosphere*, v. 17, p. 1691-1706, 1989.

CARBONARI, C.A. et al. **Eficácia do herbicida diclosulam em associação com a palha de sorgo no controle de *Ipomoea grandifolia* e *Sida rhombifolia*.** *Planta Daninha*, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 657-664, 2008.

CARBONARI, C. A. Efeito da palha na disponibilidade do herbicida amicarbazone na solução do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. 2009. **Tese (doutorado) Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu**, 2009.

CARTER, A.D. **Herbicide movement in soils: principles, pathways and processes.** *Weed Research*, v.40, n.1, p.113-122, 2000.

CARVALHO, S. J. P.; GONÇALVES NETTO, A. **Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da Protox (Grupo E).** In: CHRISTOFFOLETI, P. J.; NICOLAI, M. Aspectos da resistência de plantas daninhas a herbicidas. 4 ed. Piracicaba: ESALQ, 2016.

CARDOSO, C. O.; FARIA, R. T.; FOLEGATTI, M. V. **Simulação do rendimento e riscos climáticos para o milho safrinha em Londrina -PR, utilizando o modelo CERES-Maize**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 291–300, 2004.

CASTRO MACEDO, G.; CARBONARI, C.A.; VELINI, E. D.; GOMES, G.L.G.C.; MATOS, A.K.A; CASTRO, E.B.; BURGOS, N.R. **Behavior of sulfentrazone in the soil as influenced by cover crop before no-till soybean planting**. Weed Science, 68(6), 673-680, 2020.

CAVENAGHI, A. L. et al. Dinâmica de sulfentrazone em palha de aveia e cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23, 2002, Gramado. Anais...Gramado: SBCPD, 2002. P. 162.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; KEHDI, C. A.; CORTEZ, M. G. **Manejo da planta daninha *Brachiaria plantaginea* resistente aos herbicidas inibidores da ACCase**. Planta Daninha: Viçosa, v. 19, n. 1, p. 61- 66, 2001.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; OVEJERO, R.F.L. **Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba, SP. 49 p. 2005.

COBBUCI, T. **Avaliação agronômica dos herbicidas fomesafen e bentazon e efeito de seus resíduos no ambiente, no sistema irrigado feijão-milho**. 1996. 106f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira – Safra de grãos 2022**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>.

CORREIA, F.V. et al. **Infiltração de atrazina em latossolo submetido aos sistemas de plantio direto e convencional**. Pesquisa agropecuária brasileira. v.42, n.11, pp. 1617 -1625, 2007.

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

CZAPAR, G.F.; KANVAR, R.S.; FAWCETT, R. **Herbicide and trace movement to field drainage tiles under simulated rainfall conditions**. Soil and Tillage Research, 30:19-32, 1994.

DAN, H.A.; DAN, L.G.M.; BARROSO, A.L.L.; PROCOPIO, S.O.; AOLIVEIRA JR., R.S.; SILVA, A.G.; LIMA, M.D.B. & FELDKIRCHER C., **Residual activity of herbicides used in soybean agriculture on grain sorghum crop succession**. Planta Daninha, 28(especial): 1087–1095, 2010.

DAN, H.A.; BARROSO, A.L.L.; DAN, L.G.M.; PROCOPIO, S.O.; OLIVEIRA JR., R.S.; SIMON, G.A. & MUNHOZ, D.M., **Atividade residual de herbicidas aplicados em pós-emergência na cultura da soja sobre o milheto cultivado em sucessão**. Planta Daninha, 29 (3): 663–671, 2011a.

DAN, H.A.; DAN, L.G.M.; BARROSO, A.L.L.; PROCOPIO, S.O.; OLIVEIRA JR., R.S.; ASSIS, R.L.; SILVA, A.G. & FELDKIRCHER C., **Atividade residual de**

herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milheto cultivado em sucessão. Planta Daninha, 29 (2): 437–445, 2011b.

DAN, H.A.; DAN, L.G.M.; BARROSO, A.L.L.; OLIVEIRA NETO, A.M. & GUERRA, N., **Resíduos de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão.** Revista Caatinga, 25(1): 86–91, 2012.

EL-NAHHAL, Y.; ABADSA, M.; AFFIFI, S. **Adsorption of diuron and linuron in Gaza soils.** American Journal of Analytical Chemistry, v.4, n.7, p.94-99, 2013.

EL SEBAR, T. M.; DEVERS, B.; LAGACHERIE, N.; ROUARD, G.; SOULAS, G.; MARTIN-LAURENT, F. **Diuron mineralization in a Mediterranean vineyard soil: impact of moisture content and temperature.** Pest. Manag. Sci. 55:988-995, 2010.

ESTEVES, A.; CORRÊA, L.A.; ARAÚJO, N.B. **Avaliação de cultivares de milho (*Zea mays* L.) de ciclo superprecoce, na entressafra.** In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., 1994, Goiânia. Resumos... Goiânia: ABMS/ EMGOPA/CNPMS-EMBRAPA/UFG/EMATER-GO, 1994. p.38

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** Guaíba; Agropecuária, 2000. 360p.

FONSECA, I. M. et al. **Crescimento e nutrição do sorgo (cv. BRS 304) em solução nutritiva.** R. Biol. Ci. Terra, v. 8, n. 2, p. 113-124, 2008.

FMC CORPORATION. **Technical bulletin of sulfentrazone.** Philadelphia, 1995. 6p.

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

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

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

GREY, T. L.; WALKER, R. H.; WEHTJE, G. R.; HANCOCK, H. G. **Sulfentrazone adsorption and mobility as affected by soil and pH.** Weed Science, v. 45, n. 5, p. 733– 738, 1997.

GREY, T. L. et al. **Behavior of sulfentrazone in ionic exchange resins, electrophoresis gels, and cation-saturated soils.** Weed Science, v.48, n.2, p.239-247, 2000.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** Guaíba: Agropecuária, v. 1, p. 360, 2000.

FARENHORST, Annemieke; PROKOPOWICH, Brent. **The Effect of Propanil Co-application on 2, 4D Sorption by Soil.** Journal of Environmental Science and Health, Part B, v. 38, n. 6, p. 713-721, 2003.

FREITAS, M.A.M. et al. **Sorção de sulfentrazone em diferentes tipos de solo determinada por bioensaios.** Planta Daninha, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 385-392, 2014.

FRANCISCHINI, A. C.; CONSTANTIN, J.; MATTE, W. D.; OLIVEIRA JR., R. S. de; HENCKES, J. R. **Carryover de herbicidas utilizados no controle de soqueiras do algodoeiro sobre o milho cultivado em sucessão.** Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages, v. 19, n. 3, p. 305 - 318, 2020.

GEMELLI, A. *et al.* **Mecanismos de ação e resistência dos herbicidas Inibidores do Fotossistema II (FSII) (Grupo C).** In: Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas. Piracicaba: ESALQ, p. 119-132, 2016.

GERWICK, B. C.; SUBRAMANIAN, M. V.; LONEY-GALLANT, V. I.; CHANDLER, D. P. **Mechanism of Action of the 1,2,4- Triazolo [1,5-a] pyrimidines.** Pestic. Sci., v. 29, n. 3, p.357-364, 1990.

GIACOMAZZI S., CHOCHET N., **Environmental impact of diuron transformation: a review.** Chemosphere, v. 56, n. 11, p. 1021 – 1032, 2004.

GONÇALVES, A. H.; SILVA, J. B.; LUNKES, J. A. **Controle de tiririca (*Cyperus rotundus*) e efeito residual sobre a cultura do feijão do herbicida imazapyr.** *Planta Daninha*, v. 19, n. 3, p. 435-443, 2001.

GRAVEEL, J. G.; TURCO, R. F. **Factors affecting mobility of pesticides in soil.** In: PURDUE UNIVERSITY. Herbicide action course. West Lafayette: Purdue University, 1994, p. 464-507.

HATHWAY, D. E. **Molecular mechanisms of herbicide.** Vol. 1. CRC PRESS. Boca Raton, Florida, 1988, 207p.

HEAP, I. **The International Herbicide-Resistant Weed Database.** www.weedscience.org. Accessed: January 5, 2021.

IBAMA. Instituto Nacional do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Portaria Normativa IBAMA nº 84, de 15 de outubro de 1996. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/legislacao/agrotoxicos>. Acesso em: 05.04.2019.

IBRAFE - Instituto Brasileiro do Feijão. **Revista IBRAFE.** Ano 2, Edição 2, junho de 2018. Curitiba (PR). Disponível em: http://www.ibrafe.org/wp-content/uploads/2018/09/IBRAFE_REVISTA_ED2_VF_digital.pdf. Acesso em: 26 out. 2018a.

IMACHE, A.E.; DAHCHOUR, A.; ELAMRANI, B.; DOUSSET, S.; POZZONNI, F.; GUZZELLA, L. **Leaching of diuron, linuron and their main metabolites in undisturbed field lysimeters.** Journal of Environmental Science and Health, Part B, v. 44, n. 1, p. 31-37, 2008.

INOUE, M.H. et al. **Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante**. Acta Scientiarum Agronomy, v.30, n.5, p.631-638, 2008

INOUE, M.H.; OLIVEIRA Jr., R.S.; REGITANO, J.B.; TORMENA, C.A.; TORNISIELO, V.L.; CONSTANTIN, J. **Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no estado do Paraná**. Planta Daninha, v. 21, n. 2, p. 313-323, 2003.

KARPINSKI, R. A. K.; OLIVEIRA NETO, A.; GUERRA, N.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR. R.; MACIEL, C.; SILVA, A. Influência da textura do solo na seletividade do herbicida fomesafen aplicado em pré-emergência do algodoeiro. **Revista Brasileira de Herbicidas**, [S.l.], v. 13, n. 2, p. 125-133, ago. 2014. ISSN 2236-1065.

KEARNEY, P.C.; KAUFMAN, D.D., **Microbial degradation of s-triazine herbicides**. Residue Rev., v. 32, p. 235-66, 1970.

KLESCHICK, W. A.; COSTALES, M. J.; DUNBAR, J. E.; MEIKLE, R. W.; MONTE, W. T.; PEARSON, N. R.; SNIDER, S. W.; VINOGRADOFF, A. P. **New Herbicidal Derivatives of 1,2,4-Triazolo [1,5-a] pyrimidine**. Pestic. Sci., v. 29, n. 3, p.341- 355, 1990.

KLESCHICK, W. A.; GERWICK, B. C.; CARSON, C. M.; MONTE, W. T., SNIDER, S. W. **DE 498, a new acetolactate synthase inhiting herbicide with multicrop selectivity**. Journal Agricultural Food Chemical. v. 40, n.6, p. 1083-1085, 1992.

KUMAR A.A., REDDY B.V.S., SHARMA H.C., HASH C.T., RAO P.S., RAMAIAH B., REDDY O.S. **Recent advances in sorghum genetic enhancement research at ICRISAT**. American Journal of Plant Sciences 2: 589-600, 2011.

LAMEGO, F.P. et al. **Seletividade dos herbicidas S-metolachlor e alachlor para o feijão-carioca**. Planta Daninha, v.29, n.4, p. 877-883, 2011.

LANÇAS, F.M. **Validação de métodos cromatográficos de análise**. São Carlos: RiMa, 2004. 46p.

LANGE, A.; CAIONE, G.; SCHONINGER, E. L.; SILVA, R. G. **Productivity of outonal-corn intercropped with grass marandu according to nitrogen sources and rates**. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, v. 13, n. 1, p. 35-47, 2014.

LAVORENTI, A. et al. **Comportamento do diclosulam em amostras de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto e convencional**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, vol.27, n.1, p. 183-190, 2003.

LEITE, C. R. F.; ALMEIDA, J. C. V.; PRETE, C. E. C. L533. **Aspectos fisiológicos, bioquímicos e agrônômicos dos herbicidas inibidores da enzima ALS (AHAS)**. Londrina, PR, 1ª ed., p. 26-32. 1998.

LEVANON, D.; CODLING, E.E.; MEISSINGER, J.J.; STARR, J.L. **Mobility of agrochemicals through soil from two tillage systems**. Journal of Environmental Quality, 22:155-161, 1993.

LIU, Y. et al. **Adsorption and desorption behavior of herbicide diuron on various Chinese cultivated soils.** Journal of Hazardous Materials, n.1-3, v.178, p.462-468, 2010.

MADALÃO J. C. **Fitorremediação do sulfentrazone em argissolo vermelho-amarelo e sua sorção e dessorção em diferentes tipos de solos.** 2014. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. **Fisiologia da planta de sorgo.** Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 2003. 4 p. (Embrapa CNPMS. Circular Técnica, 86).

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes.** Brasília, 2009. 318 p.

MARCHIORETTO et al. **Weed control and crop selectivity of post-emergence herbicides in common beans.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v.47: 03, e20160295, 2017.

MARKWELL, J.; NAMUTH, D.; HERNANDEZ-RIOS, I. Introducción a los herbicidas que actúan a través de la fotosíntesis. 2006. Disponível em: http://plantandsoil.unl.edu/croptechology2005/weed_science/. Acesso em: 21 jan. 2019.

MARCUSSI S.A. **Seletividade e eficiência de pyroxassulfone e flumioxazina, em mistura e isolados na cultura do milho e efeito *carryover* na cultura do feijão.** 2020 Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu.

MARTINEZ, C. O.; SILVA, C. M. M. S.; FAY, E. F.; ABAKERLI, R. B.; MAIA, A. H. N.; DURRANT, L. R. **The effects os moisture na temperature on the degradation of sulfentrazone.** *Geoderma*, v. 147, p. 56 – 62, 2008.

MATOS, Ana Karollyna Alves de. **Uniformidade na deposição e dinâmica de formulações de diuron e sulfentrazone em solo, palha e plantas de cana-de-açúcar,** 2018. Dissertação de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu.

MENDES, K. F., *et al.* **A proposal to standardize herbicide sorption coefficients in Brazilian tropical soils compared to temperate soils.** *Journal of Food Agriculture and Environment*, v. 12, n. 3-4, p. 424-433, 2014.

MENEZES C.B., SANTOS C.V., JÚLIO M.P.M., SILVA K.J., SALDANHA D.C., TUMA E SILVA C.H., TARDIN F.D., RODRIGUES J.A.S., **Capacidade combinatória de linhagens de sorgo granífero cultivados em segunda safra.** *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 127, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2015.

MELO, C. A. D.; MEDEIROS, W. N.; TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; TIBURCIO, R.A.S.; FERREIRA, L.R. **Lixiviação de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen no perfil de três solos.** *Planta Daninha*, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2010.

MEROTTO JR, A.; VIDAL, R.A. **Herbicidas Inibidores de Protox.** In: VIDAL, R.A; MEROTTO JR, A. (Ed.). *Herbicidologia.* Porto Alegre: p. 69-86, 2001.

MONQUERO, P.A., BINHA, D.P.; SILVA, A.C.; SILVA, P.V. & AMARAL, L.R. **Eficiência de herbicidas pré-emergentes após períodos de seca.** Planta Daninha, Viçosa, v.26, n.1, p.185-193, 2008.

MONQUERO, P. A.; MUNHOZ, W. S.; HIRATA, A. C. S. **Persistência de imazaquim e diclosulam em função da umidade do solo.** Revista Agro ambiente, On-line, v. 7, n. 3, p. 331-337, 2013.

MUELLER, T. C., MOORMAN T. B., SNIPES E. E. **Effect of concentration, sorption, and microbial biomass on degradation of the herbicide fluometuron in surface and subsurface soils.** J. Agric. Food Chem. 40:2517-2522, 1992.

MUELLER T.C., BOSWELL B.W., MUELLER S.S., STECKEL L.E., **Dissipation of fomesafen, saflufenacil, sulfentrazone, and flumioxazin from a Tennessee soil under field conditions.** Weed Sci 62:664–671, 2014.

MUNDT, Tamara Thaís *et al.* **Dinâmica de formulações de diuron e sulfentrazone em solos com diferentes texturas.** Anais SIMPOHERBI, v. 1, 2019.

NAVARRO, Simon *et al.* **Assessment of the leaching potential of 12 substituted phenylurea herbicides in two agricultural soils under laboratory conditions.** Journal of agricultural and food chemistry, v. 60, n. 21, p. 5279-5286, 2012.

NORSWORTHY J.K., WARD S.M., SHAW D.R., LEWELLYN R.S., NICHOLS R.L., WEBSTER T.M., BRADLEY K.W., FRISVOLD G., POWLEA S.B., BURGOS N.R., WITT W.W., BARRET M., **Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations.** Weed Sci 60(SP1):31–62, 2012.

OHMES G. A., HAYES R. M., MUELLER T. C., **Sulfentrazone dissipation in a Tennessee soil.** Weed Technol 14:100–105, 2000.

OHMES, G. A.; MUELLER, T. C. **Sulfentrazone adsorption and mobility in surface soil of the southern United States.** Weed Technology, v. 21, n. 3, p. 796–800, 2007.

OLIVEIRA JR, R.S. *et al.* **Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils.** Weed Research, v.41, n.2, p.97-110, 2001.

OLIVEIRA, M. F. & BRINGHENTI, A. M. **Comportamento dos herbicidas no ambiente.** IN: OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Eds.). Biologia e manejo de plantas daninhas. Curitiba: Omnipax, 2011.

OLIVEIRA JUNIOR, R. S. **Mecanismos de ação dos herbicidas.** In: Oliveira Junior., R. S., CONSTANTIN, J., INOUE, M. H. Eds.- Biologia e manejo de plantas daninhas. Omnipax Editora, p. 141-192, 2011.

PASSOS, A.B.R.J. *et al.* **Leaching of sulfentrazone in soils of reforestation in Brazil.** **Environmental Earth Sciences**, v.74, n.2, p.1211-1215, 2015

PASSOS, A.B.R.J. *et al.* **Sorption and desorption of sulfentrazone in Brazilian soil.** **Journal of Environmental Science and Health – Part B**, v.48, n.8, p.646-650, 2013.

PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E. **Sementes de milho no Brasil: A dominância dos transgênicos**. Brasil: EMBRAPA, 2018. 36p.

PEREIRA, F.A.R.; ALVARENGA, S.L.A.; OTUBO, S.; MORCELI, A.; BAZONI, B. **Seletividade de sulfentrazone em cultivares de soja e efeitos residuais sobre culturas sucessivas em solos de cerrado**, Revista Brasileira de Herbicidas, v.1, p.219-224, 2000.

PEREIRA, Patrícia Bortolanza. **Seletividade de sulfentrazone e diuron em feijão-comum em dois solos do Paraná**. 2021 (Tese de Doutorado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

PEREZ-JONES, A. et al. **Molecular analysis of hexazinone resistant shepherd's-purse (*Capsella bursapastoris*) reveals a novel psbA mutation**. Weed Science, v.57, n.6, p.574-578, 2009.

PESTICIDE PROPERTIES DATABASE – **PPDB**. University of Hertfordshire, Reino Unido. Disponível em <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm>. Acessado em 22 set 2022.

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

PRATA, F., LAVORENTI, A.; REGITANO, J.B.; TORNISIELO, V. L., **Degradação e sorção de ametrina em dois solos com aplicação de vinhaça**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 36, n 7, p. 975-981, 2001.

PROCÓPIO, S.O. et al. **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 150 p, 2003.

QUEIROZ, M. E. C.; LANÇAS, F. M. HRGC study of sorption and desorption of atrazine, ametryn and metolachlor on brazilian soils. **Journal Of The Brazilian Chemical Society**, v. 8, n. 1, p. 1-6, 1997.

REIS, F.C. et al. **Leaching of diuron, hexazinone, and sulfometuron-methyl applied alone and in mixture in soils with contrasting textures**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v.65, n.34, p.2645-2650, 2017.

RIBANI, M. et al. **Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos**. Química Nova, v.27, n.5, p.771-780, 2004.

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

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 7ª ed. Londrina, PR, 2018. 764 p.

RODRIGUES J.A.S., MAGALHAES P.C., SOUZA T.C., **Ecofisiologia do sorgo**. In: RODRIGUES J.A.S (Ed). Cultivo do Sorgo. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2012.

ROSSI, C. V. S.; ALVES, P. L. C. A.; MARQUES JUNIOR, J. Mobilidade do sulfentrazone em Latossolo Vermelho e em Chernossolo. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 701-710, 2005.

ROSS, M.A.; LEMBI, C.A. **Herbicide groups with significant foliar use: nintranslocated herbicides showing initial localized injury.** In: Applied Weed Science. 2ª Ed. New Jersey: Pretenci Hall, 1999.

ROUCHAUD, J.; NEUS, O.; BULCKE, R.; COOLS, K.; ELEN, H.; DEKKERS, T. **Soil dissipation of diuron, chlorotoluron, simazine, propyzamide, and diflufenican herbicides after repeated applications in fruit tree orchards.** Archives of Environmental Contamination and Toxicology, v. 39, n.1, p. 60-65, 2000.

SABATÉ, J.; VIÑAS, M.; SOLANAS, A. M. **Laboratory-scale bioremediation experiments on hydrocarbon contaminated soils.** International Biodeterioration & Biodegradation, v. 54, n. 1, p. 19-25, 2004.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. EMBRAPA – **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** Sistema brasileiro de classificação de solos - SiBCS. 3ª ed. EMBRAPA, Brasília - DF, 2013. 353 p.

SCHLEGEL A.J., LAMM F.R., ASSEFA Y., STONE L.R., **Dryland Corn and Grain Sorghum Yield Response to Available Soil Water at Planting.** Agronomy Journal, 110: 236-245, 2018.

SENSEMAN, S.A. **Herbicide handbook.** Weed Science Society of America, 2007.

SHANER, D.L. **Herbicide Handbook.** 10. ed. Weed Science Society of America: Lawrence, 2014. 513p.

SIKKEMA, P.H. et al. **Tolerance of white beans to postemergence broadleaf herbicides.** Weed Technology, v.18, n.4, p.893-901, 2004.

SILVA, C.M.M.S; FAY, E.F. **Pesticidas & Ambiente.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.145-192, 2004.

SILVA L.O.C., SILVA A.A., QUEIROZ M.E.L.R., LIMA C.F, ROCHA P.R.R., D'ANTONINO, L. **Ação de *Eleusine coracana* na remediação de solos contaminados com picloram.** Planta Daninha, Viçosa-MG, 30:627 – 632, 2012.

SILVA, Valdevino Pereira, 2012. **Eficiência e residual no solo de herbicidas aplicados em pós emergência na cultura do feijão.** (Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa).

SILVA, V.P.; FERREIRA, L.R.; D'ANTONINO, L.; CARNEIRO, J.E.; SILVA, G.R.; FONTES, D.R.. **Eficiência e residual no solo de herbicidas na cultura do feijão.** Planta Daninha, 31:961-970, 2013.

SILVA, A. A., VIVIAN, R., OLIVEIRA Jr., R. S. Herbicidas: comportamento no solo. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.) **Tópicos em manejo de plantas daninhas.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p. 189-248, 2013.

SILVA, A. A.; d'ANTONINO, L.; FERREIRA, F. A. **Classificação e mecanismos de ação de herbicidas**. In: ZAMBOLIM, L.; SILVA, A. A.; PICANÇO, M. C. (4. ed). O que os engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários. Viçosa, MG: UFV, p. 153-212, 2014.

SILVA, G.S. **Seletividade em mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar e lixiviação do diuron, hexazinone e aminocyclopyrachlor isolados e associados**. 2018. Dissertação (Doutorado em Ciências – Área concentração Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS – SBCPD. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: 1995.

SZMIGIELSKI, A. M. et al. **Development of a laboratory bioassay and effect of soil properties on sulfentrazone phytotoxicity in soil**. Weed Technol., v. 23, n. 5, p. 486-491, 2009.

SZMIGIELSKI, A.M. et al. **Effects of soil factor on phytotoxicity and dissipation of sulfentrazone in Canadian prairie soils**. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.43, n.6, p.896-904, 2012.

TARDIN, F. D.; ALMEIDA FILHO, J. E.; OLIVEIRA, C. M.; LEITE, C. E. P.; MENEZES, C. B.; MAGALHÃES, P. C.; RODRIGUES, J. A. S.; SCHAFFERT, R. E. **Avaliação agrônômica de híbridos de sorgo granífero cultivados sob irrigação e estresse hídrico**. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 12, n. 2, p. 102-117, 2013.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. **Herbicidas inibidores da ALS**. In: VIDAL, R. A.; MEROTTO JR, A. (Ed.). Herbicidologia. Porto Alegre, p. 25-36, 2001.

ULBRICH, A. V.; SOUZA, J. R. P.; SHANER, D.E. **Persistence and carryover effect of imazapic and imazapyr in Brazilian cropping systems**. Weed Technology, v. 19, n. 3, p. 986-991, 2005.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho. p.90-102. 2004.

VELINI, E. D.; FREDERICO, L. A. M.; MORELLI, J. L.; MARUBAUYASHI, O. M. **Avaliação dos efeitos do herbicida clomazone, aplicado em pós-emergência inicial, sobre o crescimento e produtividade de soqueira de cana de açúcar (*Saccharum officinarum* cv. SP 71-1406)**. STAB, Piracicaba, v.12, n.2, p.30-36, 1993.

VIDAL, R.A. **Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas**. Porto Alegre, 1165 p, 1997.

VIDAL, R.A.; FLECK, N.G. Inibidores de crescimento da parte aérea. In: **Herbicidologia** VIDAL, R.A.; MEROTTO JR., A. (Org.). Porto Alegre: Evangraf, p. 123-130, 2001.

VIVIAN, R.; REIS, M.R.; JAKELAITIS, A.; SILVA, A. F.; GUIMARÃES, A. A.; SANTOS, J. B.; SILVA, A.A. **Persistência de sulfentrazone em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar.** Planta Daninha, v. 24, n. 4. 741 – 750, 2006.

VICTORIA FILHO, R.; CAMARGO, P. N. de. **Efeitos de herbicidas nos teores de macronutrientes e nas características tecnológicas da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*).** I - Misturas de herbicidas em pós-emergência. Planta Daninha, Campinas, v.3, n.2, p.96-107, dez. 1980.

VIECELLI, Matheus *et al.* **Tolerância de genótipos brasileiros de feijoeiro ao sulfentrazone.** 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

VIEIRA, C.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. Feijão. 2 ed. Viçosa: UFV - Universidade Federal de Viçosa, 2006. 600p.

VON PINHO R.G.; VASCONCELOS R.C.; BORGES I.D.; RESENDE A.V., Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. *Bragantia* 66: 235-245, 2007.

WESTRA E.P.; SHANER D.L.; WESTRA P.H.; CHAPMAN P.L.; **Dissipation and leaching of pyroxasulfone and S-metolachlor.** *Weed Technol* 28:72–81, 2014.

YODER, R. N. **Summary of the Environmental Fate of DE-564;** Dow AgroSciences, 1996.

YODER, R.N. et al. Aerobic metabolism of diclosulam on U.S. and South American soils. ***Journal of Agriculture Food Chemistry***, 48:4335-4340, 2000.

ZABIK, J. M.; WESENBEECK, I. J. V.; PEACOCK, A. L.; KENNARD, L. M.; ROBERTS, D. W. **Terrestrial Field Dissipation of Diclosulam at Four Sites in the United States.** *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, V. 49, p. 3284-3290, 2001.

ZIMDAHL R.L., **Fundamentals of Weed Science.** 3rd edn. San Diego, CA: Elsevier. Pp 477–481, 2007.