

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS - *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA
BACHARELADO EM AGRONOMIA

Marcos Paulo Barbosa Pinto Ferreira

**AVALIAÇÃO RESIDUAL DA MISTURA DOS HERBICIDAS
SULFENTRAZONE+DIURON NO SOLO**

São João Evangelista

2026

MARCOS PAULO BARBOSA PINTO FERREIRA

**AVALIAÇÃO RESIDUAL DA MISTURA DOS HERBICIDAS
SULFENTRAZONE+DIURON NO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Agronomia, no Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* São João Evangelista (IFMG/SJE).

Orientador: Prof. Dr. José Roberto de Paula
Coorientador: Dr. Valdevino Pereira Silva

São João Evangelista

2026

F383a Ferreira, Marcos Paulo Barbosa Pinto.
 Avaliação residual da mistura dos herbicidas sulfentrazone+diuron
 no solo/ Marcos Paulo Barbosa Pinto Ferreira – 2026.
 40f.: il.

 Orientador: Dr. José Roberto de Paula.
 Coorientador: Dr. Valdevino Pereira Silva.
 Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Agronomia) –
 Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2026.

 1. Herbicidas residuais. 2. Sulfentrazone. 3. Diuron. 4. Lixiviação.
 5. Bioensaios I. Ferreira, Marcos Paulo Barbosa Pinto. II. Instituto
 Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 632.954

Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/4333

Marcos Paulo Barbosa Pinto Ferreira

**AVALIAÇÃO RESIDUAL DA MISTURA DOS HERBICIDAS
SULFENTRAZONE+DIURON NO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Agronomia, no Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* São João Evangelista (IFMG/SJE).

Aprovado em: 12/ 02 / 2026 pela banca examinadora:

Prof. Dr. José Roberto de Paula – IFMG (Orientador)

Dr. Valdevino Pereira Silva – IFMG (Coorientador)

Dr. Ari Medeiros Braga Neto – IFMG

RESUMO

As plantas daninhas causam prejuízos significativos à produção agrícola, sendo o uso de herbicidas uma das principais estratégias de controle. No entanto, a persistência desses produtos no solo pode ocasionar efeitos residuais indesejáveis. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito residual da mistura de herbicidas sulfentrazone + diuron no solo, ao longo do tempo em diferentes dosagens e textura de solos, visando compreender sua persistência e os impactos sobre culturas subsequentes. Os experimentos foram conduzidos em campo e em casa de vegetação no município de São João Evangelista–MG, utilizando sorgo (*Sorghum vulgare*) como planta bioindicadora. As doses avaliadas foram (175+350), (350+700) e (525+1050) g ha⁻¹ do princípio ativo dos herbicidas, com coletas de solo nas profundidades de 0–10 e 10–20 cm, realizadas de 3 a 273 dias após a aplicação (DAA). Os resultados indicaram que a fitotoxicidade e a redução da matéria seca do sorgo aumentaram com o incremento das doses e foram mais persistentes em solo argiloso, com efeitos observados até 273 DAA, na maior dose. Em solo arenoso, verificou-se maior mobilidade dos herbicidas, com sintomas de intoxicação em camadas mais profundas, influenciados pela precipitação acumulada de 246 mm. As análises cromatográficas confirmaram a presença remanescente dos herbicidas ao longo do perfil do solo. Conclui-se que o comportamento residual da mistura sulfentrazone + diuron é fortemente influenciado pela dose aplicada e pela textura do solo, determinando maior persistência e retenção em solos argilosos e maior potencial de lixiviação em solos arenosos.

Palavras-chave: Herbicidas residuais. Sulfentrazone. Diuron. Lixiviação. Bioensaio.

ABSTRACT

Weeds cause significant losses to agricultural production, and the use of herbicides is one of the main control strategies. However, the persistence of these products in the soil may result in undesirable residual effects. Therefore, the present study aimed to evaluate the residual effect of the sulfentrazone + diuron herbicide mixture in the soil over time at different application rates and soil textures, seeking to understand its persistence and impacts on subsequent crops. The experiments were conducted under field and greenhouse conditions in the municipality of São João Evangelista–MG, using sorghum (*Sorghum vulgare*) as a bioindicator plant. The evaluated rates were (175+350), (350+700), and (525+1050) g ha⁻¹ of the active ingredients of the herbicides, with soil samples collected at depths of 0–10 and 10–20 cm, from 3 to 273 days after application (DAA). The results indicated that phytotoxicity and the reduction of sorghum dry matter increased with increasing rates and were more persistent in clayey soil, with effects observed up to 273 DAA at the highest rate. In sandy soil, greater herbicide mobility was observed, with intoxication symptoms detected in deeper layers, influenced by the accumulated rainfall of 246 mm. Chromatographic analyses confirmed the remaining presence of the herbicides throughout the soil profile. It was concluded that the residual behavior of the sulfentrazone + diuron mixture is strongly influenced by the applied rate and soil texture, resulting in greater persistence and retention in clayey soils and a higher leaching potential in sandy soils.

Keywords: Residual herbicides. Sulfentrazone. Diuron. Leaching. Bioassay.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Valores de precipitação (mm), temperatura compensada média (°C), umidade relativa média (%).	17
Figura 2. Canteiros em solo arenoso (A) e argiloso (B), na área experimental.....	17
Figura 3. Sistema de irrigação na área experimental.....	18
Figura 4. Aplicação de herbicida no solo arenoso (A) e no solo argiloso (B) na área experimental	19
Figura 5. Bioensaios em casa de vegetação. (A) Época de implantação: (B) 21 dias após a semeadura do Sorgum vulgare.....	20
Figura 6. Porcentagem da mistura sulfentrazone+diuron recuperada em diferentes profundidades de solos arenoso (esquerda) e argiloso (direita), utilizando as doses de 175; 350 e 525 g ha ⁻¹ para o sulfentrazone e de 350; 700 e 1050 g ha ⁻¹ , aos 93 DAA. 31	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físico-químicas do solo de cada área experimental (0-20cm).	16
Tabela 2. Tratamento do experimento de campo	18
Tabela 3. Conceitos atribuídos à toxicidade de herbicidas, segundo a escala adaptada do EWRC.....	21
Tabela 4. Médias de intoxicação (%) em plantas de sorgo para doses de sulfentrazone, coletadas em oito épocas após a aplicação, em solo arenoso e argiloso, nas profundidades de 0 a 10 e 10 a 20 cm.	23
Tabela 5. Médias de massa seca (g) de plantas de sorgo cultivadas durante 21 DAE em solos arenoso e argiloso coletadas em oito épocas após a aplicação da mistura sulfentrazone+diuron em diferentes doses, nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm.	27
Tabela 6. Concentração total de sulfentrazone e diuron recuperada e dissipada em solos arenoso e argiloso, utilizando as doses de 175; 350 e 525 g ha ⁻¹ para o sulfentrazone e 350, 700 e 1050 g ha ⁻¹ para o diuron aos 93 DAA.....	29

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Origem e incidência das plantas daninhas	11
2.2	Herbicida	11
2.3	Persistência e lixiviação dos herbicidas	12
2.4	Efeito residual de herbicidas	13
2.5	Sulfentrazone + Diuron (STONE®).....	14
3.	METODOLOGIA.....	16
3.1	Experimento em campo	16
3.2	Experimento em casa de vegetação com sorgo	19
3.3	Características avaliadas	20
3.4	Condições cromatográficas e espectrometria de massas	21
3.5	Análise estatística.....	22
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
4.1	Fitotoxicidade.....	23
4.2	Matéria Seca.....	26
4.3	Herbicida remanescente.....	28
5.	CONCLUSÃO.....	34
	REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

As plantas daninhas constituem um dos principais fatores limitantes da produtividade agrícola, pois competem com as culturas por recursos essenciais como água, luz, nutrientes e espaço, além de favorecerem a ocorrência de pragas e doenças. A interferência das plantas daninhas pode comprometer significativamente o desenvolvimento das culturas, tornando o manejo adequado indispensável para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Christoffoleti et al., 2016). Nesse contexto, o manejo integrado de plantas daninhas surge como uma estratégia eficiente, combinando métodos culturais, mecânicos, biológicos e químicos, sendo este último amplamente adotado devido à sua praticidade e eficiência (SILVA et al., 2022).

Entre os métodos químicos, o uso de herbicidas destaca-se como uma das principais ferramentas no controle de plantas daninhas na agricultura moderna. Esses produtos atuam por meio de diferentes mecanismos de ação, interferindo em processos metabólicos essenciais ao desenvolvimento das plantas infestantes (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011). A escolha adequada do herbicida, aliada ao correto manejo de aplicação, é fundamental para garantir eficiência no controle, seletividade à cultura e redução de impactos ambientais. Herbicidas como o sulfentrazone e o diuron são amplamente utilizados em diversas culturas agrícolas, principalmente devido à sua eficácia no controle de espécies de difícil erradicação (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

A utilização de misturas de herbicidas tem se intensificado nos últimos anos como estratégia para ampliar o espectro de controle e reduzir a seleção de biótipos resistentes. De acordo com Christoffoleti *et al.* (2016), a associação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação pode resultar em efeitos sinérgicos, promovendo maior eficiência no manejo das plantas daninhas. No entanto, essas misturas devem ser criteriosamente avaliadas, pois interações inadequadas podem ocasionar antagonismo, fitotoxicidade às culturas ou aumento do risco de contaminação ambiental (Gazziero, 2015).

Outro aspecto de grande relevância no uso de herbicidas refere-se ao seu efeito residual no solo, caracterizado pela permanência da atividade herbicida por determinado período após a aplicação. Esse efeito é influenciado por fatores como as propriedades físico-químicas do produto, condições edafoclimáticas, textura e teor de matéria orgânica do solo (SILVA *et al.*, 2007). No caso do sulfentrazone e do diuron, ambos apresentam efeito residual significativo, o que pode contribuir para o controle prolongado das plantas daninhas. Entretanto, torna-se essencial avaliar a persistência desses herbicidas no ambiente,

especialmente quando utilizados em mistura, a fim de evitar possíveis impactos negativos sobre culturas subsequentes e o meio ambiente (INOUE *et al.*, 2011).

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito residual da mistura de herbicidas sulfentrazone + diuron no solo, ao longo do tempo em diferentes dosagens e textura de solos, visando compreender sua persistência e os impactos sobre culturas subsequentes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Origem e incidência das plantas daninhas

A origem das plantas daninhas pode ser atribuída a diferentes fatores, entre os quais se destacam os processos evolutivos naturais e a ação antrópica, principalmente por meio da introdução acidental ou intencional de espécies exóticas em novos ambientes. Segundo Pitelli (2015), as plantas daninhas não surgiram com a agricultura, mas passaram a apresentar maior importância a partir do momento em que o homem começou a modificar o ambiente natural, promovendo distúrbios frequentes como preparo do solo, irrigação, adubação e colheita. Esses distúrbios criaram condições favoráveis ao estabelecimento de espécies com elevada capacidade de adaptação e reprodução.

Lorenzi (2014), destaca que muitas plantas daninhas têm origem em ambientes naturais, como campos e áreas abertas, onde já estavam adaptadas a condições adversas. Com a expansão da agricultura, essas espécies passaram a colonizar áreas cultivadas, beneficiando-se da redução da competição e da disponibilidade de recursos como água, luz e nutrientes.

A incidência dessas espécies nas lavouras está fortemente relacionada às práticas agrícolas utilizadas, como o monocultivo, o uso intensivo de herbicidas e a ausência de rotação de culturas, que favorecem a seleção de biótipos resistentes e a proliferação de determinadas espécies. Além disso, fatores edafoclimáticos, como temperatura, regime de chuvas, tipo de solo e luminosidade, influenciam diretamente a emergência, o crescimento e a distribuição das plantas daninhas nos diferentes biomas agrícolas do Brasil (LORENZI, 2014). Dentre os métodos usados em conter o avanço e disseminação de plantas daninhas é através do controle químico e uso de herbicidas (NERY, 2023).

2.2 Herbicida

Os herbicidas são substâncias químicas ou agentes biológicos que tem como finalidade selecionar espécies específicas de plantas e causar a morte da mesma (ZIMDHAL *et al.*, 1993).

Conhecer o funcionamento dos herbicidas auxilia na determinação do modo mais correto de utilização desses produtos, auxilia no diagnóstico de problemas em seu desempenho e na sua relação com os sintomas de injúrias causadas (MARCHI, *et al.*, 2008). Com isso deve-se agrupar os herbicidas de acordo com seu mecanismo de atuação nas plantas

e sua estrutura química básica. Em geral, herbicidas pertencentes ao mesmo grupo químico apresentam sintomas semelhantes em plantas suscetíveis, podendo ocorrer exceções à regra (ZIMDHAL, 1993). Além disso, a seleção de herbicidas deve sempre levar em consideração estratégias de manejo para evitar que as plantas desenvolvam resistência a grupos de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação, o que pode ser evitado selecionando herbicidas com diferentes mecanismos de ação (MARCHI, *et al.*, 2008).

O mecanismo de ação está relacionado às etapas bioquímicas ou biofísicas iniciais dentro da célula que são inibidas pela atividade herbicida. Este processo inicial pode ser suficiente para matar espécies suscetíveis. No entanto, geralmente são necessários várias outras reações ou processos químicos para matar uma planta cuja soma é chamada de modo de ação. Os herbicidas normalmente inibem a atividade enzimática/proteica nas células e, como resultado, induzem uma série de eventos que matam ou inibem o desenvolvimento de células e organismos (VIDAL, 1997). Consequentemente, o modo de ação representa o efeito final observado nas plantas após a aplicação do herbicida.

Uma alternativa para garantir uma recomendação mais segura, especialmente no caso de herbicidas utilizados em pré-emergência, é compreender os processos que determinam o comportamento dessas moléculas no solo. A sorção exerce influência sobre a distribuição, a biodisponibilidade e a persistência dos herbicidas no ambiente (SANTOS, *et al.*, 2008).

2.3 Persistência e lixiviação dos herbicidas

O destino final dos produtos químicos aplicados na agricultura é o solo, seja quando aplicado diretamente no solo ou na parte aérea da planta. Em contato com o solo, os herbicidas são expostos a processos físico-químicos que regulam seu destino no meio ambiente. Quando um herbicida é aplicado e chega ao solo, ele está sujeito a processos de sorção, dessorção e degradação, influenciados por fatores físicos, químicos e biológicos (LIMA, *et al.*, 2023). Vários processos envolvidos na degradação e desaparecimento de herbicidas afetam a persistência desses compostos e limitam sua disponibilidade para as plantas (COLQUHOUN, 2006).

A sorção e a dessorção dos herbicidas dependem das características físicas e químicas das moléculas, como acidez ou basicidade (pK_a ou pK_b), solubilidade em água, distribuição de carga em cátions orgânicos, entre outros fatores (QUEIROZ; LANÇAS, 1997). A dessorção é o processo pelo qual a molécula do herbicida, antes sorvida, é liberada

(SILVA, et al., 2007). A sorção é o principal processo que regula a lixiviação, pois diz respeito à quantidade de herbicida disponível na solução do solo, estando sujeita ao transporte para camadas mais profundas (PEREZ, 2023)

O processo de lixiviação constitui a principal forma de transporte, no solo, de moléculas não voláteis e hidrossolúveis. Essas moléculas deslocam-se ao longo do perfil do solo à medida que a água percola através dele (MONQUERO *et al.*, 2008). Isso é determinado pela diferença de potencial hídrico entre os dois pontos (PRATA *et al.*, 2003). A lixiviação é essencial para a maioria dos herbicidas combinarem-se superficialmente e atingir sementes ou plantas em germinação, mas o excesso pode deslocá-las para camadas mais profundas do solo, limitando sua eficácia e promovendo a contaminação do lençol freático (VELINI, 1992).

O potencial de lixiviação de um herbicida pode ser avaliado por técnicas de lisímetro (WINTON; WEBER, 1996), cromatografia de camada delgada de solo (HELLING, 1971; SANCHEZ-MARTIN *et al.*, 1994). No entanto, esses métodos de avaliação envolvem o uso de equipamentos que muitas vezes são muito caros e requerem elevado custo de manutenção. Outro método é o uso de colunas de solo (CAETANO *et al.*, 1995; PIRES *et al.*, 1997; SOUZA *et al.*, 2000; INOUE *et al.*, 2002) em combinação com o melhoramento de plantas altamente sensíveis ao herbicida de interesse, chamados de bioindicadores.

A principal vantagem dos bioensaios é a detecção apenas de resíduos bioativos, sem a necessidade de instrumentos caros e extração prévia de resíduos do solo. No entanto, os resultados apresentados são semiquantitativos e requerem curvas de calibração para cada herbicida e para cada indicador (BEYER *et al.*, 1988). A análise biológica requer a seleção de variedades de plantas que atendam aos requisitos de facilidade de cultivo sensibilidade a certos herbicidas e sintomas facilmente visíveis (BARCELLOS JÚNIOR *et al.*, 2019). Os bioensaios são conduzidos para analisar diversas propriedades dos herbicidas, incluindo sorção, lixiviação, degradação e efeito residual no solo (Paula, 2022).

2.4 Efeito residual de herbicidas

Os herbicidas residuais são aqueles com maior duração de atividade. No entanto, esses herbicidas têm um efeito residual (carryover), que pode afetar negativamente o meio ambiente (MANCUSO *et al.*, 2011). De acordo Oliveira (2001), o efeito residual é a capacidade de um herbicida reter a integridade de sua molécula e, portanto, suas características físicas, químicas e funcionais no ambiente. Conforme a estrutura química e das condições edafoclimáticas, os herbicidas podem não ser completamente degradados durante o

ciclo da cultura principal, deixando resíduos com características tóxicas, ou não, à cultura sucessora (COBBUCI; MACHADO, 1999).

A degradação e o deslocamento dos herbicidas no solo podem ser afetados pela textura, pH, teor de matéria orgânica, umidade e temperatura do solo, pelas propriedades físicas e químicas dos herbicidas e pelas quantidades aplicadas (FERRI; VIDAL, 2002). O manejo do solo pode modificar a persistência dos herbicidas e impactar sua eficácia no controle de plantas daninhas, o potencial de danos às culturas em sucessão e no risco de contaminação ambiental (FERRI; VIDAL, 2002).

O efeito carryover pode variar de acordo com as propriedades físicoquímicas do herbicida, como coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}), coeficiente de sorção (K_{oc}), capacidade de dissociação eletrolítica (pK_a) (MOREIRA *et al.*, 2019). O coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) indica a afinidade que a molécula do herbicida tem com a fase polar (a água) e apolar (o octano). O coeficiente de sorção (K_{oc}) é um parâmetro que indica a tendência de um herbicida se ligar às partículas do solo, em vez de permanecer dissolvido na água do solo. Esse coeficiente é fundamental para entender o movimento, a persistência e o risco ambiental do herbicida (SILVA *et al.*, 2007). A capacidade de dissociação eletrolítica (pK_a) é a capacidade de dissociação da molécula em função do pH do meio. O pK_a é o valor de pH onde 50% da molécula herbicida encontra-se na forma molecular e 50%, na forma dissociada (COSTA *et al.*, 2013).

Dentre os herbicidas com longo efeito residual no solo, destaca-se o sulfentrazone e o diuron (PEREZ, 2023). Recomendado para aplicação em pré-emergência da cana-de-açúcar, soja, café, eucalipto, citros (FMC, 2024).

2.5 Sulfentrazone + Diuron (STONE®)

O produto herbicida STONE® pertence à classe pré-emergente, seletivo condicional de ação sistêmica, recomendado para o controle de plantas infestantes. Suas composições são 2',4'-dichloro-5'-(4-difluoromethyl-4,5-dihydro-3-methyl-5-oxo-1H-1,2,4-triazol-1-yl) methanesulfonanilides (SULFENTRAZONA), 3-(3,4-dichlorophenyl)-1,1-dimethylurea (DIURON), 1,2-ethanediol e outros ingredientes (FMC, 2024).

O sulfentrazone é um herbicida pré e pós-emergência do grupo químico ariltriazolinonas, que atua inibindo a enzima protoporfirinogênio oxidase, um intermediário importante na síntese da clorofila em plantas (JACOBS; JACOBS, 1987; REDDY; LOCKE, 1998). Esse herbicida é absorvido pelas plantas através da raiz e das folhas, com movimento

limitado no floema em função da rápida dessecação foliar (RODRIGUES & ALMEIDA, 2011).

O herbicida sulfentrazone tem-se revelado persistente em solos brasileiros (MARTINEZ *et al.*, 2008). Sua meia-vida estimada no solo é 110 dias a 280 dias, variando de acordo com as condições edafoclimáticas do local, sendo a atividade microbológica seu mecanismo inicial de degradação (HATZIOS, 1998).

O diuron pertence ao grupo químico das ureias substituídas (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Apresenta um amplo espectro de ação, recomendado para aplicação em pré e pós-emergência inicial das plantas daninhas normalmente em misturas com outros herbicidas (hexazinone, MSMA, paraquat e sulfentrazone) (SOUSA, 2016). O herbicida diuron é um inibidor da cadeia transportadora de elétrons no fotossistema II (FSII). Devido a sua elevada persistência (um mês a um ano), o diuron pode ser uma fonte potencial de contaminação do solo, sedimentos e ambientes aquáticos (FIELD *et al.*, 2003).

3. METODOLOGIA

Para a realização dos experimentos em campo, foram conduzidos dois estudos em duas áreas distintas em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico: o experimento 1, realizado em solo arenoso, e o experimento 2, em solo argiloso, apresentando as características físico-químicas como mostra na tabela 1. As densidades médias aparentes dos solos das áreas arenosas e argilosas na camada de 0 a 20 cm foram respectivamente de 1,32 g cm⁻³ e de 1,13 g cm⁻³.

Tabela 1. Características físico-químicas do solo de cada área experimental (0-20cm). IFMG – *Campus* São João Evangelista/MG, 2020.

Textura	Análise granulométrica (%)			pH ¹	M.O ² dag kg ⁻¹	CTC (T) ³ Cmol _c dm ⁻³	V ⁴ %
	Argila	Silte	Areia				
1 - Arenosa	14,4	26,6	63,0	5,31	1,41	4,35	50,7
2 - Argilosa	62,8	27,2	10,0	5,88	1,41	5,19	67,9

¹ = pH em água; ² = Matéria Orgânica; ³ = Capacidade de troca catiônica pH 7,0; ⁴ = Índice de saturação de bases.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

As áreas cujo os testes foram efetuados, localizam-se no município de São João Evangelista, leste de Minas, possuindo as seguintes coordenadas geográficas (latitude: -18° 32' 52"; longitude: -42° 45' 48" e altitude: 690 m). Além disso, foram realizados experimentos em casa de vegetação, bioensaios com a planta teste *Sorgum vulgare*, utilizando-se vasos com capacidade de 0,2 dm³. Todos os testes sucederam no Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista/MG (IFMG-SJE).

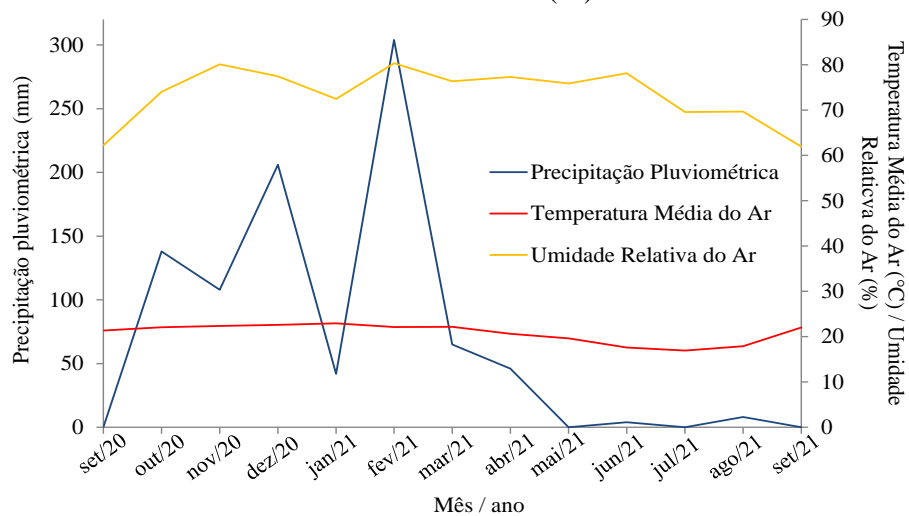
3.1 Experimento em campo

Os experimentos de campo 1 e 2 com solo arenoso e argiloso foram implantados em duas áreas com proximidade de 30 metros um do outro, embora com as características químicas e físicas diferentes.

A área utilizada para a realização do experimento 1, solo arenoso, foi cultivada anteriormente com mandioca e não houve aplicação de herbicidas nos últimos 2 anos. A mandioca foi colhida e os restos culturais retirados da área, antes da aração e gradagem, para o preparo do solo.

A área utilizada para a realização do experimento 2, solo argiloso, foi cultivada anteriormente com milho para silagem. De acordo com o histórico de manejo, os últimos herbicidas aplicados foram glyphosate e atrazina, com intervalo de 10 meses entre a aplicação e o início do experimento. O milho foi colhido, restando pouco material orgânico para ser incorporado no momento da aração e gradagem, durante o preparo do solo. As condições climáticas durante a execução dos experimentos são mostradas na Figura 1.

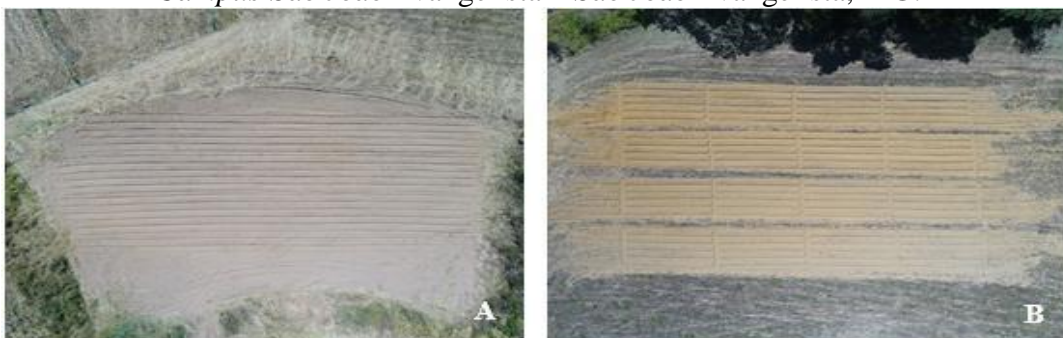
Figura 1. Valores de precipitação (mm), temperatura compensada média (°C), umidade relativa média (%).



Fonte: INMET – Estação Operante: Guanhães – MG. Período dos dados: 20/09/2020 a 20/09/2021

Após o preparo da área com aração e gradagem, foram construídos canteiros com o objetivo de evitar o escoamento superficial de herbicidas entre as parcelas experimentais. Cada canteiro apresentou dimensões de 0,7 metro de largura por 10 metros de comprimento (Figura 2).

Figura 2. Canteiros em solo arenoso (A) e argiloso (B), na área experimental do IFMG Campus São João Evangelista – São João Evangelista, MG.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Ambos experimentos, foram conduzidos por delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 2, sendo o fator 1, 4 doses e fator 2 duas profundidades de coleta das amostras e 4 repetições, totalizando 32 parcelas (Tabela 2), ficando cada parcela com área útil correspondente de 7 m², e a área total de 224 m² na superfície.

Tabela 2. Tratamento do experimento dos herbicidas sulfentazone + diuron (STONE®) em campo, São João Evangelista, Minas Gerais, Brasil, 2020.

Trat.	Dose	
	Produto comercial (L ha ⁻¹)	Princípio ativo (g ha ⁻¹)
T1	0	0
T2	1	175 + 350
T3	2	350 + 700
T4	3	525 + 1050

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Devido à condição do solo, excessivamente seco, em que o mesmo se apresentava em razão do prolongado período sem chuvas, foi indispensável realizar a irrigação da área antes da aplicação dos herbicidas, para que a atual condição não prejudicasse o experimento. A finalidade da irrigação foi elevar o nível de umidade do solo, além de favorecer a germinação do banco de sementes (Figura 3). A aplicação dos herbicidas foi efetuada com o uso de um pulverizador costal elétrico, equipado com uma barra de pulverização contendo um bico tipo leque Teejet 110.02, operando com um volume de aplicação de 200 L ha⁻¹ (Figura 4). A dose zero, correspondente à parcela testemunha, não recebeu qualquer aplicação de herbicida.

Figura 3. Sistema de irrigação na área experimental do IFMG *Campus* de São João Evangelista – São João Evangelista, MG.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Figura 4. Aplicação de herbicida no solo arenoso (A) e no solo argiloso (B) na área experimental do IFMG *Campus* de São João Evangelista – São João Evangelista, MG.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

3.2 Experimento em casa de vegetação com sorgo

Três dias após a aplicação dos herbicidas, iniciou-se a coleta de amostras de solo com o propósito de avaliar o efeito residual via bioensaios. As coletas foram realizadas em oito épocas distintas: 3, 33, 63, 93, 123, 153, 213 e 273 dias após aplicação (DAA). Em cada parcela experimental, as amostragens foram feitas em duas profundidades: 0–10 cm e 10–20 cm.

Para assegurar precisão, utilizou-se uma enxada e um gabarito marcado com as referências de profundidade (0-10 e 10-20 cm). Em cada profundidade da parcela, extraiu-se solo suficiente para preencher três vasos de 200 cm³ cada. O volume coletado por amostragem variou de 800 a 1 000 g de solo. Após a coleta, as amostras foram submetidas a desagregação, peneiramento com malha de 6 mm de abertura, homogeneizadas e acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados. .

A primeira coleta ocorreu em setembro de 2020, três dias após a aplicação dos herbicidas, enquanto as coletas subsequentes obedeceram intervalos aproximados de 30 dias, desde que houvesse precipitação suficiente para garantir a eficiência dos herbicidas no solo.

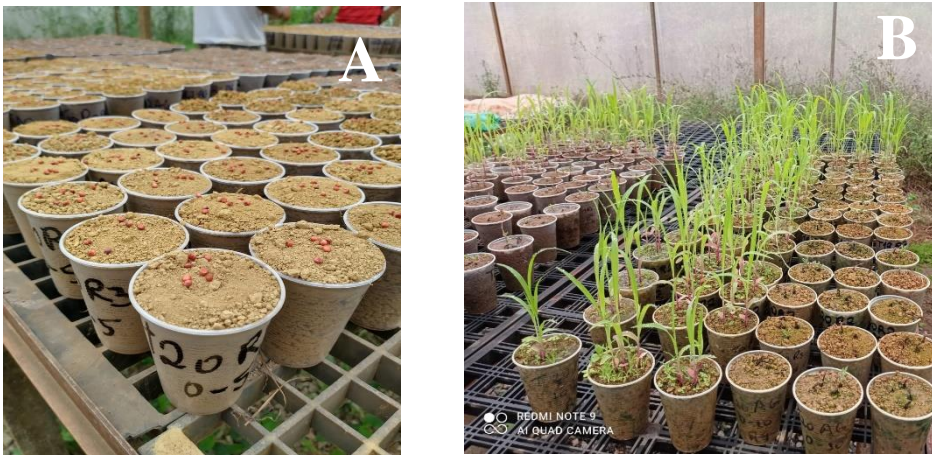
Para os bioensaios, utilizaram-se 600 cm³ do solo de cada amostra (respeitando parcela e profundidade). Esse solo foi distribuído em três vasos plásticos com capacidade de 200 cm³ cada (Figura 5). Em cada vaso, foram semeadas quatro sementes de sorgo (*Sorghum vulgare*).

A irrigação dos vasos foi diária, por microaspersão, ajustada conforme necessidade para manter a umidade ideal ao desenvolvimento das plantas bioindicadoras. Sete

dias após a germinação do sorgo, procedeu-se o desbaste, mantendo-se três plantas por vaso. Durante todo o período de cultivo (21 dias), realizou-se controle manual de plantas daninhas.

Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, organizado em esquema fatorial 2 x 4, no qual o fator 1 correspondeu a duas profundidades de coleta e o fator 2 a quatro diferentes doses, com quatro repetições. Cada parcela experimental foi composta por três vasos, totalizando 96 vasos por coleta para cada tipo de solo. Os vasos foram distribuídos de forma aleatória sobre uma bancada com 1 metro de largura, 3 metros de comprimento e 1 metro de altura.

Figura 5. Bioensaios em casa de vegetação. (A) Época de implantação: (B) 21 dias após a semeadura do *Sorghum vulgare*.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

3.3 Características avaliadas

A avaliação dos sintomas visuais de toxicidade nas plantas de sorgo foi realizada sete dias após a emergência, utilizando uma escala adaptada do EWRC (European Weed Research Council) (Tabela 3).

Tabela 3. Conceitos atribuídos à toxicidade de herbicidas, segundo a escala adaptada do EWRC

Toxicidade (%)	Interpretação
0 – 10	Nulo
11 – 20	Muito leve
21 – 30	Leve
31 – 60	Moderado
61 – 70	Forte
71 – 90	Muito forte
91 – 100	Morte

Fonte: FRANS (1972)

Aos 21 dias após a emergência, procedeu-se à determinação da matéria seca da parte aérea das plantas de sorgo que permaneceram vivas. Para isso, as plantas foram retiradas dos vasos e, em seguida, colocadas em estufa de ventilação forçada, mantida a 65 ± 2 °C, por um período de 72 horas.

3.4 Condições cromatográficas e espectrometria de massas

A quantificação dos herbicidas Sulfentrazone e Diuron foi realizada por meio de Cromatografia Líquida de Ultra Performance (Ultra High Performance Liquid Chromatography – UHPLC), utilizando-se o sistema Nexera X2 (Shimadzu, Tóquio, Japão), composto por duas bombas LC-30AD, um desgaseificador DGU-20A_{5R}, um autosampler SIL-30AC, um forno de coluna CTO-30AC e um controlador CBM-20A.

A separação cromatográfica foi efetuada em uma coluna Restek Pinnacle DB AQ C18, com dimensões de $50 \times 2,1$ mm e partículas de $1,9 \mu\text{m}$. O sistema foi operado com fluxo de $0,20 \text{ mL min}^{-1}$, volume de injeção de $5 \mu\text{L}$, e as temperaturas do amostrador e do forno da coluna foram mantidas a 15 °C e 40 °C, respectivamente. Como fase móvel, utilizou-se: fase A – água grau HPLC com 0,1% de ácido fórmico, e fase B – acetonitrila grau HPLC. A eluição ocorreu em sistema isocrático, com proporção de 65% da fase B.

Para a detecção, empregou-se um espectrômetro de massas triplo quadrupolo da série LCMS-8040 (Shimadzu, Tóquio, Japão), acoplado ao cromatógrafo, com fonte de ionização por eletrospray (ESI), operando nos modos de ionização positiva e negativa.

3.5 Análise estatística

As avaliações visuais dos eventuais sintomas de toxidez ao herbicida nas plantas de sorgo, foram analisadas utilizando-se estatística descritiva.

Realizou-se a análise de variância utilizando o teste F a 5% de probabilidade. Os resultados obtidos da matéria seca da parte aérea das plantas de sorgo foram submetidos à análise de média de cada tratamento. As variáveis cujo teste F apresentaram significativo tiveram suas médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Foi utilizado o Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG), para as análises a serem processadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Fitotoxicidade

Foi constatado que plantas de sorgo (*Sorghum vulgare*) cultivadas em solos contaminados com a combinação dos herbicidas sulfentrazone e diuron apresentaram diferentes níveis de intoxicação, os quais variaram conforme a textura do solo arenosa ou argilosa, a profundidade de coleta do solo e as doses aplicadas da mistura. Observou-se que a severidade das injúrias nas plantas bioindicadoras aumentou proporcionalmente ao incremento das doses da mistura herbicida, sendo os efeitos tóxicos mais acentuados quando as concentrações ultrapassaram os níveis recomendados para uso agrícola (Tabela 4).

Tabela 4. Médias de intoxicação (%) em plantas de sorgo para doses de sulfentrazone, coletadas em oito épocas após a aplicação, em solo arenoso e argiloso, nas profundidades de 0 a 10 e 10 a 20 cm.

Dose (gha ⁻¹)	Dias Após Aplicação (DAA)							
	3	33	63	93	123	153	213	273
----- Arenoso - Profundidade 0-10cm -----								
0	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b
175+350	81,0 a	97,8 a	75,0 a	27,5 b	10,0 b	0,0 b	0,0 b	12,5 ab
350+700	81,0 a	95,5 a	80,0 a	55,0 a	52,5 a	5,0 b	2,5 b	25,0 ab
525+1050	81,0 a	97,8 a	87,5 a	73,1 a	66,3 a	37,5 a	42,5 a	40,0 a
----- Arenoso - Profundidade 10-20cm -----								
0	0,0 a	0,0 a	0,0 c	0,0 c	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a
175+350	0,0 a	0,0 a	2,5 c	0,0 c	2,5 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a
350+700	0,0 a	0,0 a	30,0 b	17,5 b	15,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a
525+1050	0,0 a	0,0 a	70,0 a	45,0 a	22,5 a	0,0 a	0,0 a	5,0 a
----- Argiloso - Profundidade 0-10cm -----								
0	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 c
175+350	81,0 a	93,3 a	82,5 b	27,5 b	5,5 c	0,0 c	0,0 b	5,0 bc
350+700	81,0 a	95,5 a	92,5 ab	55,0 a	51,3 b	27,5 b	7,5 b	30,0 b
525+1050	81,0 a	100,0 a	100,0 a	73,1 a	80,0 a	57,5 a	35,0 a	70,0 a
----- Argiloso - Profundidade 10-20cm -----								
0	0,0 a	0,0 a	0,0 d	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b
175+350	0,0 a	0,0 a	25,5 c	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b
350+700	0,0 a	0,0 a	80,0 b	7,5 b	0,0 b	5,0 b	7,5 b	5,5 b
525+1050	0,0 a	0,0 a	90,0 a	35,0 a	25,5 a	26,0 a	32,5 a	25,5 a

Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste Tukey ao nível de significância de 5% probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A aplicação da mistura sulfentrazone+diuron em solo de textura arenosa, coletado na camada de 0 a 10 cm de profundidade, resultou em sintomas de intoxicação nas plantas de sorgo até os 93 dias após a aplicação (DAA) quando utilizada a dose de (175+350) g ha⁻¹. Na dose de (350+700) g ha⁻¹, indicada para a cultura do eucalipto, os efeitos de intoxicação sobre as plantas bioindicadoras estenderam-se até os 123 DAA. Já a aplicação da dose de (525+1050) g ha⁻¹, equivalente a 1,5 vezes a dose recomendada comercialmente, ocasionou injúrias durante todo o período de avaliação, ou seja, até os 273 DAA. Em comparação, as plantas bioindicadoras cultivadas em solo de textura argilosa, também oriundo da camada de 0 a 10 cm, apresentaram sintomas de intoxicação até os 93 DAA com a menor dose aplicada (175+350) g ha⁻¹. Com a dose recomendada para o eucalipto (350+700) g ha⁻¹, os efeitos permaneceram até os 153 DAA. Por fim, com a aplicação da maior dose (525+1050) g ha⁻¹, as plantas de sorgo apresentaram injúrias até os 273 DAA, última data avaliada, evidenciando a maior persistência da mistura sulfentrazone+diuron em solo argiloso.

Verificou-se ocorrência de fitotoxicidade em plantas de sorgo cultivadas em solos de diferentes texturas arenosa e argilosa na profundidade de 10 a 20 cm (Tabela 4). No solo arenoso, as plantas bioindicadoras apresentaram sintomas de fitotoxicidade entre 63 e 93 dias após a aplicação (DAA) nas doses de (350+700) e (525+1050) g ha⁻¹. A dose de (175+350) g ha⁻¹ não ocasionou efeito significativo em nenhuma das épocas avaliadas. No solo argiloso, na mesma profundidade (10 a 20 cm), observaram-se sintomas de fitotoxicidade aos 63 DAA em todas as dosagens aplicadas. Na maior dose, de (525+1050) g ha⁻¹, os sintomas persistiram até o último período de avaliação, aos 273 DAA.

Além dos resultados observados para as diferentes doses da mistura herbicida em solos de textura arenosa e argilosa, torna-se evidente que a textura e a profundidade do solo exercem papel determinante no comportamento dos compostos ativos da mistura sulfentrazone + diuron. No solo arenoso, onde a menor capacidade de retenção favorece maior movimentação e menor adsorção (RIZZI, 2003; MONQUERO *et al.*, 2015), as plantas de sorgo apresentaram sintomas de fitotoxicidade até 93 dias após a aplicação (DAA) com a dose inferior, prolongando-se até 273 DAA com a maior dose. Já no solo argiloso, caracterizado por maior teor de argila e, conseqüentemente, maior capacidade de adsorção dos herbicidas, as injúrias foram observadas mesmo em doses menores e permaneceram até 273 DAA na dose mais elevada, indicando maior persistência da mistura nesse ambiente. De acordo com Rizzi (2003), solos com textura mais fina e maior teor de matéria orgânica tendem a apresentar maior adsorção de herbicidas, o que reduz sua mobilidade e prolonga sua

persistência no perfil do solo. Em contrapartida, solos arenosos, devido à baixa capacidade de retenção, favorecem maior lixiviação e dissipação dos compostos aplicados.

Adicionalmente, ao analisar a interação entre sulfentrazone e diuron na mistura aplicada, é fundamental compreender se o efeito resultante é antagonístico, aditivo ou sinérgico. No contexto da presente pesquisa, a prolongada persistência e maior intensidade das injúrias nas plantas bioindicadoras, especialmente em doses elevadas e solos argilosos, sugerem uma possível interação sinérgica entre sulfentrazone e diuron, amplificando a fitotoxicidade. Esse comportamento também foi observado por Silva (2023), que, paralelamente ao presente estudo, realizou aplicações isoladas do herbicida sulfentrazone, avaliando sua persistência em solos de textura argilosa e arenosa. Portanto, entender essas interações é essencial para o manejo eficiente e seguro dos herbicidas, prevenindo impactos ambientais e fitotóxicos indesejados.

A precipitação acumulada registrada nos meses de outubro e novembro, totalizando 246 mm, após a aplicação do herbicida, possivelmente contribuiu para a lixiviação dos princípios ativos para camadas mais profundas do solo (Figura 1). A ocorrência de chuvas intensas ou irrigação logo após a aplicação de agrotóxicos pode ocasionar perdas por lixiviação para as águas subterrâneas, dependendo da intensidade e da frequência dos eventos pluviométricos (ROCHA, 2011).

O diuron apresenta alta afinidade pelos coloides de argila e pela matéria orgânica do solo, devido à sua baixa solubilidade em água e limitada mobilidade, o que reduz seu potencial de lixiviação (INOUE *et al.*, 2008). Sua degradação ocorre predominantemente por processos microbianos, embora reações químicas e físicas também possam contribuir para sua decomposição (SOUZA *et al.*, 2017).

A elevada quantidade de chuvas, assim como maiores níveis de umidade no solo, pode aumentar a disponibilidade do herbicida sulfentrazone na solução do solo, intensificando seu efeito fitotóxico sobre as plantas em determinadas condições (FAUSTINO *et al.*, 2015). Por outro lado, quando o herbicida é aplicado em solos secos, observa-se uma redução na disponibilidade na solução do solo e na eficiência de controle, com consequente aumento de sua persistência (SOUZA *et al.*, 2014).

A interação entre Diuron e Sulfentrazone no solo evidencia a complexidade do comportamento de herbicidas em misturas. Enquanto o Diuron apresenta baixa mobilidade devido à adsorção em argila e matéria orgânica, o Sulfentrazone mostra maior disponibilidade em solos úmidos e saturados, intensificando seu efeito fitotóxico (FAUSTINO *et al.*, 2015). Quando aplicados em conjunto, essas diferenças podem resultar em efeitos sinérgicos,

aumentando a fitotoxicidade sobre as plantas bioindicadoras e prolongando a persistência dos compostos no solo. Solos argilosos e com alta umidade favorecem essa interação, potencializando o efeito da mistura, enquanto solos secos ou arenosos podem reduzir a disponibilidade do sulfentrazone, alterando a eficácia do controle. Dessa forma, compreender a dinâmica conjunta desses herbicidas é essencial para o manejo eficiente, prevenindo perdas por lixiviação e impactos ambientais indesejados, como evidenciado por Matos *et al.*, (2020), que observaram que a aplicação combinada de diuron e sulfentrazone em solos de diferentes texturas pode modificar significativamente o comportamento desses compostos, resultando em maior retenção e persistência em solos argilosos e com elevada umidade.

4.2 Matéria Seca

A quantidade de matéria seca da parte aérea do sorgo apresentou variação em função da aplicação da mistura sulfentrazone+diuron nos solos arenoso e argiloso, provenientes das camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, quando comparada à testemunha cultivada em solo sem a aplicação da referida mistura (Tabela 5).

Tabela 5. Médias de massa seca (g) de plantas de sorgo cultivadas durante 21 DAE em solos arenoso e argiloso coletadas em oito épocas após a aplicação da mistura sulfentrazone+diuron em diferentes doses, nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm.

Dose (g ha ⁻¹)	Dias Após Aplicação (DAA)							
	3	33	63	93	123	153	213	273
Arenoso - Profundidade 0-10cm								
0	0,74	a 1,32	a 0,75	a 0,89	a 0,97	a 0,29	a 0,34	a 0,90
175+350	0,00	b 0,34	b 0,38	b 0,82	a 0,73	ab 0,25	a 0,24	ab 0,30
350+750	0,00	b 0,06	b 0,33	b 0,64	ab 0,55	bc 0,39	a 0,22	b 0,28
525+1050	0,00	b 0,05	b 0,10	b 0,37	b 0,37	c 0,15	b 0,19	b 0,24
Arenoso - Profundidade 10-20cm								
0	0,49	a 0,54	a 0,86	a 0,86	a 1,39	a 0,24	a 0,23	a 0,48
175+350	0,38	a 0,43	a 0,75	a 0,86	a 0,79	b 0,24	a 0,24	a 0,24
350+750	0,39	a 0,41	a 0,52	a 0,83	ab 0,80	b 0,22	a 0,22	a 0,26
525+1050	0,48	a 0,40	a 0,24	b 0,76	b 0,74	b 0,24	a 0,19	a 0,23
Argiloso - Profundidade 0-10cm								
0	0,71	a 1,36	a 0,64	a 0,88	a 1,02	a 0,23	a 0,24	a 0,32
175+350	0,00	b 0,01	b 0,23	b 0,75	ab 1,01	a 0,25	a 0,25	a 0,31
350+750	0,00	b 0,02	b 0,18	b 0,48	b 0,59	b 0,19	ab 0,22	a 0,21
525+1050	0,00	b 0,00	b 0,03	c 0,33	b 0,22	c 0,13	b 0,21	a 0,17
Argiloso - Profundidade 10-20cm								
0	0,71	a 0,61	a 0,58	a 0,71	a 1,18	a 0,24	a 0,22	a 0,26
175+350	0,56	a 0,52	a 0,48	a 0,72	a 0,77	b 0,26	a 0,25	a 0,27
350+750	0,40	a 0,50	a 0,19	b 0,76	a 0,82	b 0,24	a 0,24	a 0,22
525+1050	0,39	a 0,36	a 0,17	b 0,28	b 0,70	b 0,22	a 0,23	a 0,29

Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste Tukey ao nível de significância de 5% probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

As bioindicadoras cultivadas em solo arenoso, proveniente da camada de 0–10 cm de profundidade, apresentaram redução na matéria seca até os 273 DAA. Entretanto, aos 93 DAA, a redução ocorreu apenas na dose de (525+1050) g ha⁻¹. Aos 123 DAA, a diminuição da matéria seca foi observada nas doses de (350+700) e (525+1050) g ha⁻¹, enquanto aos 153 DAA não houve redução significativa. Já aos 213 DAA, a matéria seca apresentou redução novamente nas doses de (350+700) e (525+1050) g ha⁻¹, e aos 273 DAA a redução foi verificada em todas as doses aplicadas.

Para o solo argiloso, as bioindicadoras cultivadas na camada de 0–10 cm apresentaram redução da matéria seca até os 153 DAA, com exceção da dose de (175+350) g ha⁻¹ aos 63 DAA e das doses de (175+350) e (350+700) g ha⁻¹ aos 153 DAA. Nas épocas de 213 e 273 DAA, não houve redução da matéria seca das bioindicadoras.

Para as plantas cultivadas em solos contaminados com a mistura sulfentrazone+diuron, provenientes da camada de 10–20 cm de profundidade, tanto em solo arenoso quanto em solo argiloso, observou-se redução da matéria seca a partir de 63 DAA.

No solo arenoso, houve diferença significativa em relação à testemunha aos 63 e 93 DAA na dose de (525+1050) g ha⁻¹. Aos 123 DAA, a redução da matéria seca ocorreu em todas as doses aplicadas. Nas épocas de 153 e 213 DAA não se observou redução significativa, mas aos 273 DAA, a diminuição da matéria seca ocorreu novamente nas três doses.

No solo argiloso, a diferença significativa em relação à testemunha foi observada aos 63 DAA para as doses de (350+700) e (525+1050) g ha⁻¹, e aos 93 DAA, apenas na dose de (525+1050) g ha⁻¹. Aos 123 DAA, todas as doses aplicadas apresentaram redução da matéria seca, enquanto nas épocas de 153, 213 e 273 DAA não houve redução significativa das plantas bioindicadoras. Como esperado, verificou-se que maiores quantidades de matéria seca (Tabela 5) estiveram associadas a menores índices de intoxicação (Tabela 4).

4.3 Herbicida remanescente

Diversas interações podem influenciar a dinâmica dos herbicidas no solo quando esses produtos são aplicados de forma combinada. Entre essas interações, destaca-se a competição por sítios de sorção, a qual pode modificar o comportamento das moléculas, resultando em maior ou menor potencial de lixiviação. Esse fenômeno já foi amplamente discutido na literatura (FARENHORST; BOWMAN, 1998; FARENHORST; PROKOPOWICH, 2003; SHARIFF, 2012).

As concentrações de sulfentrazone aplicados em combinação com diuron, bem como sua recuperação e dissipação nos solos de textura arenosa e argilosa, considerando as doses inicialmente aplicadas dos respectivos ingredientes ativos (175, 350 e 525 g ha⁻¹ de sulfentrazone e 350, 700 e 1050 g ha⁻¹ de diuron), foram analisadas aos 93 DAA (Tabela 6). Embora os teores de sulfentrazone presentes na mistura comercial com diuron sejam consideravelmente menores do que aqueles observados na aplicação do produto isolado, nota-se que as porcentagens de recuperação desse herbicida permanecem muito próximas às registradas na formulação individual (Tabela 6). Tal resultado evidencia a expressiva afinidade competitiva do sulfentrazone pelos sítios de sorção, o que contribui para a maior mobilidade e conseqüente lixiviação do diuron para as camadas mais profundas do solo (Figura 6).

Tabela 6. Concentração total de sulfentrazone e diuron recuperada e dissipada em solos arenoso e argiloso, utilizando as doses de 175; 350 e 525 g ha⁻¹ para o sulfentrazone e 350, 700 e 1050 g ha⁻¹ para o diuron aos 93 DAA.

Sulfentrazone						
Descrição	Solo arenoso			Solo argiloso		
	Dose aplicada (g ha ⁻¹)					
	175	350	525	175	350	525
Herbicida recuperado (g ha ⁻¹)	46,5	94,1	138,6	44	93,4	131,1
% Herbicida recuperado	26,6	26,9	26,4	25,1	26,7	25
Herbicida dissipado (g ha ⁻¹)	128,5	256	386,4	131	256,6	393,9
% Herbicida dissipado	73,4	73,1	73,6	74,9	73,3	75
Diuron						
Descrição	Solo arenoso			Solo argiloso		
	Dose aplicada (g ha ⁻¹)					
	350	700	1050	350	700	1050
Herbicida recuperado (g ha ⁻¹)	83,9	186,4	259,1	91,9	175,1	238,3
% Herbicida recuperado	24	26,6	24,7	26,2	25	22,7
Herbicida dissipado (g ha ⁻¹)	266,1	513,6	790,9	258,1	524,9	811,7
% Herbicida dissipado	76	73,4	75,3	73,8	75	73,3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

As concentrações resultantes da aplicação da mistura sulfentrazone + diuron foram detectadas em todas as profundidades analisadas (0–5, 5–10, 10–15 e 15–20 cm) nos solos de textura arenosa e argilosa, utilizando-se as doses de (175+350), (350+700) e (525+1050) g ha⁻¹ (Figura 6). Em qualquer uma das dosagens avaliadas, verifica-se que os valores de diuron ao longo do perfil do solo apresentaram-se sempre superiores aos de sulfentrazone. Esse comportamento pode estar associado, principalmente, ao fato de que, na formulação comercial empregada, a quantidade de diuron é o dobro daquela destinada ao sulfentrazone.

Quanto à retenção do diuron, observaram-se tendências semelhantes às verificadas para o sulfentrazone. No solo argiloso, as maiores concentrações foram identificadas nas camadas superficiais (0–5 cm e 5–10 cm), enquanto no solo arenoso os níveis mais elevados ocorreram nas porções mais profundas (10–15 cm e 15–20 cm) (Figura 6). Ambos os solos apresentaram teor de matéria orgânica idêntico, correspondente a 1,41 dag kg⁻¹ (Tabela 1). Dessa forma, presume-se que outros atributos do solo influenciem a maior ou menor retenção e/ou deslocamento dos ingredientes ativos, destacando-se, por exemplo, o teor de argila e a

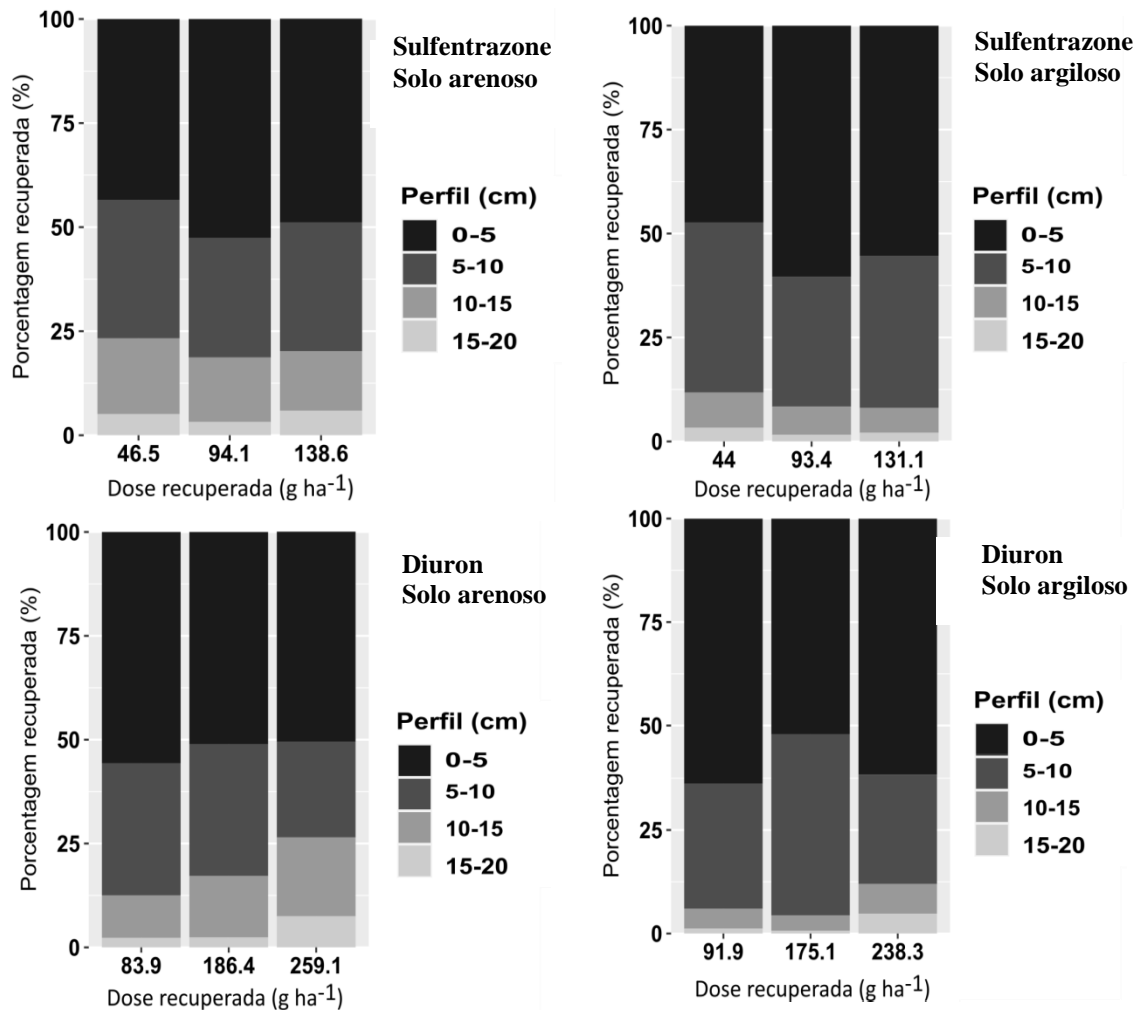
capacidade de troca de cátions (CTC). Para o solo arenoso e o solo argiloso, os valores de argila e CTC foram, respectivamente, (14,4%; 4,35 cmolc dm⁻³) e (62,8%; 5,19 cmolc dm⁻³).

As diferenças nas propriedades físico-químicas do diuron e do sulfentrazone influenciam diretamente o modo como esses herbicidas se comportam no ambiente do solo. Conforme relatado por Ebato e Yonebayashi (2005), tais distinções determinam interações específicas com os coloides do solo, refletindo mecanismos de retenção distintos. Nesse contexto, o diuron apresenta maior afinidade por interações de natureza física, como pontes de hidrogênio e forças de Van der Waals (CHAGAS *et al.*, 2019), enquanto o sulfentrazone demonstra comportamento dependente do pH do solo, interagindo por meio de ligações eletrostáticas e podendo assumir diferentes cargas positivas ou negativas (PASSOS *et al.*, 2013). Dessa forma, a ausência de competição direta entre essas moléculas pelos mesmos sítios sortivos pode influenciar sua mobilidade, persistência e disponibilidade no solo, com possíveis implicações ambientais e agronômicas.

As propriedades físico-químicas do diuron, especialmente seu caráter hidrofóbico, desempenham papel fundamental em seu comportamento no solo. Conforme destacado por Inoue *et al.*, (2008), essa característica favorece a ocorrência de interações hidrofóbicas entre a molécula do herbicida e a matéria orgânica do solo, o que pode resultar em maior retenção do composto nesse compartimento.

Dessa forma, a afinidade do diuron pela matéria orgânica tende a influenciar sua sorção, mobilidade e persistência no ambiente edáfico, com implicações diretas para sua disponibilidade e potencial impacto ambiental (González-Pradas *et al.*, 1998; Liu *et al.*, 2010).

Figura 6. Porcentagem da mistura sulfentrazone+diuron recuperada em diferentes profundidades de solos arenoso (esquerda) e argiloso (direita), utilizando as doses de 175; 350 e 525 g ha⁻¹ para o sulfentrazone e de 350; 700 e 1050 g ha⁻¹, aos 93 DAA.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Os resultados apresentados na Figura 6 evidenciam que a aplicação em mistura de princípios ativos pode alterar o comportamento dos herbicidas em relação ao uso isolado. No caso do diuron (N¹-(3,4-diclorofenil)-N,N-dimetilureia), herbicida pertencente ao grupo das fenilureias, suas propriedades físico-químicas — baixa solubilidade em água (42 mg L⁻¹ a 25 °C), coeficiente de partição octanol-água moderado (Kow = 589) e elevado coeficiente de partição carbono orgânico/água (Koc = 480 mL g⁻¹) — contribuem para sua forte adsorção às frações orgânica e argilosa do solo (SHANER, 2014). Entretanto, em solos com baixo teor de matéria orgânica, o diuron apresenta maior tendência à lixiviação, uma vez que, nessas condições, o processo de dessorção pode ser mais intenso que o de sorção (LIU *et al.*, 2010). Assim, esse herbicida é considerado pouco lixiviável em solos argilosos, enquanto apresenta

lixiviação moderada em solos com baixos teores de argila e matéria orgânica (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011), o que auxilia na interpretação das diferenças observadas quando aplicado em mistura.

O sulfentrazone, pertencente à família das arilas do grupo triazolinona, apresenta características físico-químicas que explicam seu comportamento ambiental e o potencial risco associado ao seu uso agrícola. Por ser um ácido fraco (pK_a 6,56) e apresentar baixo coeficiente de partição octanol-água ($K_{ow} = 9,8$ em pH 7), sua ionização aumenta em ambientes com pH mais elevado, resultando em maior solubilidade em água (110 mg L⁻¹ em pH 6; 780 mg L⁻¹ em pH 7; e 1.600 mg L⁻¹ em pH 7,5 a 25 °C). Essas propriedades favorecem sua mobilidade no solo, especialmente em condições de menor retenção por coloides, o que é confirmado pelos baixos valores de sorção ($K_d < 1,0$ mL g⁻¹ e $K_{oc} = 43$ mL g⁻¹). Aliada à elevada persistência em condições de campo, com meia-vida variando de 121 a 302 dias, essa mobilidade contribui para o alto potencial de lixiviação do sulfentrazone, refletido em seu elevado índice GUS (6,16) e consequente risco de contaminação de águas subterrâneas. A dinâmica desse herbicida no solo é fortemente influenciada pelo pH e pelo teor de matéria orgânica, que afetam sua forma química e capacidade de retenção, enquanto a fração argila pode atuar de forma secundária, modulando sua mobilidade conforme as características do solo.

O sulfentrazone presente na formulação combinada (Stone®; 175 g L⁻¹), quando aplicado em concentrações substancialmente inferiores à formulação isolada (Solara®; 500 g L⁻¹), acumula-se em maior concentração na faixa de profundidade de 15–20 cm, em ambos os solos avaliados quando utilizada a menor dose (SILVA, 2023). Esse comportamento sugere intensa competição pelos sítios de adsorção entre as moléculas componentes da formulação combinada, o que justifica a prática industrial de reduzir a concentração de ingredientes ativos em formulações comerciais combinadas de herbicidas, de modo a minimizar a competição por sítios sortivos no solo e otimizar a disponibilidade e o desempenho dos herbicidas.

Neste estudo, verificou-se que a precipitação acumulada de 246 mm após a aplicação dos herbicidas exerceu influência significativa na movimentação e na distribuição desses compostos ao longo do perfil do solo, favorecendo processos de lixiviação. Esse comportamento está em consonância com resultados reportados na literatura, como os de Matos *et al.*, (2020), que observaram maior lixiviação do diuron quando aplicado em mistura com sulfentrazone, especialmente sob maiores volumes de chuva simulada, entre 80 e 120 mm, em solos de diferentes texturas. Por outro lado, estudos conduzidos por Reis *et al.*, (2017) relataram baixa mobilidade do diuron em solos arenosos e argilosos submetidos a

precipitação simulada de 192 mm, tanto na aplicação isolada quanto em mistura com outros herbicidas. Assim, os resultados obtidos neste estudo indicam que a lixiviação do diuron pode estar associada à combinação com o sulfentrazone, bem como às características dos solos avaliados e ao elevado volume de precipitação acumulada após a aplicação.

A interpretação dos resultados indica que a associação dos princípios ativos apresentou comportamento de lixiviação semelhante em solos arenosos e argilosos, com exceção da dose de 350+700 g ha⁻¹ na camada de 5–10 cm, na qual o solo argiloso reteve maior concentração das moléculas em relação ao solo arenoso. De modo geral, observou-se que, no solo argiloso, o sulfentrazone apresentou menores concentrações nas camadas mais profundas (10–15 e 15–20 cm) quando comparado ao solo de textura arenosa, independentemente da dose avaliada, evidenciando maior retenção do herbicida nas camadas superficiais. Esse comportamento é esperado, uma vez que a molécula de sulfentrazone apresenta alta solubilidade, elevada mobilidade e considerável potencial de lixiviação (PPDB, 2022). Estudos sobre a mobilidade do sulfentrazone em solos com diferentes texturas indicam que a concentração do herbicida tende a se manter restrita à camada superficial (0–15 cm) em solos com elevado teor de argila, mesmo após a aplicação de uma chuva simulada de 60 mm, entretanto, em solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica, o sulfentrazone é lixiviado a maiores profundidades, evidenciando que o processo de lixiviação depende das características químicas e físicas dos solos, especialmente dos teores de argila, areia e matéria orgânica (PASSOS *et al.*, 2015).

5. CONCLUSÃO

O uso da mistura sulfentrazone + diuron (Stone®) mostrou que a intensidade da fitotoxicidade e a redução da matéria seca do sorgo aumentaram proporcionalmente às doses aplicadas, sendo mais acentuadas nas maiores concentrações da mistura. As análises cromatográficas confirmaram a presença de sulfentrazone e diuron em diferentes profundidades do perfil do solo, indicando maior retenção dos herbicidas em solo argiloso e maior lixiviação em solo arenoso.

REFERÊNCIAS

- BARCELLOS JÚNIOR, L. H. et al. Espécies indicadoras de resíduos de saflufenacil em solos. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 18, n. 2. 2019. Disponível em: <https://www.rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/653/653>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- BEYER, E. M. *et al.* Sulfunylureia. In: KEARNEY, P.C.; KAUFMAN, D.D. eds. **Herbicides: chemistry, degradation, and mode of action**, p. 117-189. 1988.
- CHAGAS, Paulo Sérgio Fernandes das; SOUZA, Matheus de Freitas; DOMBROSKI, Jeferson Luiz Dallabona; *et al.* Multivariate analysis reveals significant diuron-related changes in the soil composition of different Brazilian regions. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 7900, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-44405-x>. Acesso em: 10 nov. 2025.
- CAETANO, L. C. S. *et al.* Adsorção e lixiviação do herbicida napropamida em dois Latossolos. **Ci. Prática**, v. 19, p. 129- 134, 1995.
- CHRISTOFFOLETI, P. J. *et al.* Aspecto de resistência de plantas daninhas a herbicidas. **HRAC-BR**, 2016. Disponível em: https://upherb.com.br/ebook/livro_Hrac.pdf. Acesso: em 10 jan. 2026.
- COBBUCI, T.; MACHADO, E. Seletividade, eficiência de controle de plantas daninhas e persistência no solo de imazamox aplicado na cultura do feijoeiro. **Planta Daninha**, v. 17, n. 3, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83581999000300009>. Acesso em: 16 fev. 2026.
- COLQUHOUN, J. Herbicide persistence and carryover. **Published by University of Wisconsin-Extension**, 2006. 12 p. Disponível em: <https://corn.aae.wisc.edu/Management/pdfs/A3819.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2026.
- COSTA, A. G. F. *et al.* Desafios, Avanços e Soluções no Manejo de Plantas Daninhas. **Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas**, Londrina, PR, 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/975603/desafios-avancos-e-solucoes-no-manejo-de-plantas-daninhas-palestras>. Acesso em: 16 fev. 2026.
- EBATO, Munehiro; YONEBAYASHI, Koyo. Method for estimating competitive adsorption of herbicides on soils. **Journal of Pesticide Science**, v. 30, n. 3, p. 220-224, 2005.
- FAUSTINO, L. A. *et al.* Mobilidade do sulfentrazone em solos com diferentes características físicas e químicas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 783-791, dez. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582015000400018>. Acesso em: 2 nov. 2025.
- FARENHORST, A.; BOWMAN B. T. Competitive sorption of atrazine and metolachlor in soil. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 33, p. 671-82, 1998.

FARENHORST, A.; PROKOPOWICH, B. The effect of propanil co-application on 2,4-D sorption by soil. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 38, p. 713-21, 2003.

FERRI, M. V. W.; VIDAL, R. A. Persistência do herbicida Acetochlor em função de sistemas de preparo e cobertura com palha. **Planta Daninha**, v. 20, n. 1, p. 133-139, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582002000100017>. Acesso em: 16 fev. 2026.

FIELD, J. A. *et al.* Diuron occurrence and distribution in soil and surface and ground water associated with grass seed production. **J Environ Qual**, 2003.

GAZZIERO, D.L.P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 33, n. 1, p. 83-92, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/ZWy9dmvvYsbHqbJ7C3fFF3D/?lang=pt>. Acesso: 11 jan. 2026.

GONZÁLEZ-PRADAS, E. *et al.* Sorption and leaching of diuron on natural and peat-amended calcareous soil from Spain. **Water Res.**, v. 32, n. 9, p. 2814-2820, 1998.

HATZIOS, K. K. Supplement to herbicide handbook. 7. ed. Lawrence: **Weed Science Society of America**, 1998.

HELLING, C. S. Pesticide mobility in soils. III. Influence of soil properties. **Soil Sci. Soc.** v. 35, p. 743-748, 1971.

INOUE, M. H. *et al.* Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 20, p. 125-132, 2002.

INOUE, M. H.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; ALONSO, D. G.; SANTANA, D. C. Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 5, p. 563-571, 2008. DOI:10.4025/actasciagron.v30i5.5963. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/5963>. Acesso em: 20 out. 2025.

INOUE, M. H. *et al.* Residual effect of herbicides applied in pre-emergence in different soils. **Planta Daninha**, v. 29, p. 429-435, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/bcsDGYcYC3YydBzCKTDkLxr/?format=html&lang=pt>. Acesso: 11 jan. 2026

JACOBS, J. M.; JACOBS, N. J. Oxidation of protoporphyrinogen to protoporphyrin, a step in chlorophyll and haem biosynthesis. **Biochemical Journal**, v.244, p.219-224, 1987.

LIMA, B. R. *et al.* revisão sobre fatores físicos e químicos dos herbicidas no solo, destacando o conceito de lixiviação e seu potencial. **Cultivando o futuro: tendências e desafios nas ciências agrárias** 2, 2024. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/post/revisao-sobre-fatores-fisicos-e-quimicos-dos-herbicidas-no-solo-destacando-o-conceito-de-lixiviacao-e-seu-potencial>. Acesso em: 15 fev. 2026.

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

LORENZI, H. Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 4. ed. **Nova Odessa**, SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2008.

MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo (“Carryover”). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 151–164, 2011. Disponível em: <https://www.rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/106>. Acesso em: 17 jan. 2026.

MARCHI, G. *et al.* Herbicidas: mecanismos de ação e uso. **Embrapa Cerrados**, n.1, p. 1-36, 2008. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/571939/1/doc227.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2026.

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

MATOS, A. K. A. *et al.* Dynamics of diuron and sulfentrazone formulations in soils with different textures. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 38, e020221524, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100068>. Acesso em: 8 nov. 2025.

MONQUERO, P. A. *et al.* Potencial de lixiviação de herbicidas no solo submetidos a diferentes simulações de precipitação. **Planta Daninha**, v. 26, p. 403–409, 2008a. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/YHLZh4pQhSQQpLBVKvBQWQz/?lang=pt>. Acesso em: 15 jan. 2026.

MONQUERO, Patrícia Andrea; SILVA, Ana Carolina; HIRATA, André Carlos Santos; CORRÊA, Marcos Ribeiro. Mobilidade do herbicida imazaquin em diferentes solos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 2, p. 165-174, 2015. Disponível em: <https://revistacaatinga.com.br/index.php/caatinga/article/view/3795>. Acesso em: 22 out. 2025.

MOREIRA, Aurélio Carneiro Soares. *et al.* efeito carryover do saflufenacil na cultura do feijoeiro em diferentes texturas de solos. **Revista do COMEIA**, v. 1, n 1, 2019. Disponível em: <https://sl1nk.com/gck3S>. Acesso em: 17 jan. 2026.

NERY, E. D. Diferentes herbicidas no controle de plantas daninhas. **Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação**, 777–794. Disponível em: doi.org/10.51891/rease.v9i1.8311. Acesso em 14 fev. 2026.

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

OLIVEIRA JR., R. S. Mecanismo de ação de herbicidas. In: DE OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Coord.). **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Omnipax Curitiba, Brasil, p. 141-192, 2011.

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

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

PAULA, D. F. Efeito residual de herbicidas aplicados na pré-emergência em três solos e controle da galinsoga parviflora com oxyfluorfen, flumioxazin e linuron. 2022. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/8779ffb8-dfb7-4ac4-b7d1-0508676f3ed0/content> . Acesso em: 15 Fev. 2026.

PIRES, N. M. *et al.* Adsorção e lixiviação de trifluralin e imazaquin em diferentes solos. **R. Ceres**, v. 44, p. 300-304, 1997.

PEREZ, L. L. **Dinâmica da mistura formulada de sulfentrazone com diuron e o herbicida diclosulam no solo e os efeitos residuais em milho, sorgo e feijão**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.11.2023.tde-16052023-091819>. Acesso em: 15 fev. 2026.

PITELLI, R. A. O termo planta-daninha. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 33, n. 3, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/MY3k43DccjZxbpJpy8dR6Gr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 jan. 2026

PPDB, 2022. Pesticide Properties Database PPDB. **University of Hertfordshire**. Disponível em: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/601.htm>. Acesso em: 28 dez. 2025.

PRATA, F. *et al.* Glyphosate sorption and desorption in soils with different phosphorous levels. **Sci. Agric.**, v. 60, n. 1, p. 175-180, 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**, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-50531997000100002>. Acesso em: 15 fev. 2026.

REDDY, K. N.; LOCKE, M. A. Sulfentrazone sorption, desorption, and mineralization in soils from two tillage systems. **Weed Science**, v.46, p.494-500, 1998.

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. 3, p. 2645-2650, 2017.

RIZZI, Fernanda Renata. Sorção de sulfentrazone em função da textura, matéria orgânica e umidade de solos. 2003. vi, 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – **Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho**, Botucatu, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/90715>. Acesso em: 22 out. 2025.

ROCHA, P. R. R. Sorção, dessorção, lixiviação e meia-vida do diuron em quatro latossolos brasileiros. **Universidade Federal de Viçosa**, 2011. Disponível em: <https://locus.ufv.br/items/67c6816c-f4d4-43f5-ada0-5a721a0896bc>. Acesso em: 02 Nov. 2025

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F S. **Guia de Herbicidas**. 6.ed. Londrina: B. N. Rodrigues, 2011. 697 p.

SANCHEZ-MARTIN, M. J. *et al.* Evaluation of the mobility of C14- labelled pesticides in soils by thin layer chromatography using a linear analyser. *J. Environ. Sci. Health, Part B*, v. 3, p. 473-484, 1994.

SHANER, D. L. Manual de Herbicidas. 10. ed. **Lawrence: Weed Science Society of America**; 2014. 513p.

SANTOS, F. M. *et al.* Persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone em lâmina de água do arroz irrigado. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 26, n. 4, p. 875-881. 2008.
Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/wM94zMFmQRxz3khgrJqZDVc/?lang=pt>.
Acesso em: 15 fev. 2026.

SHARIFF, R. M. Effect of Co-pesticide on adsorption-desorption process on agricultural soils. **International Journal of Modern Engineering Research**, v. 2, n. 1, p. 55-69, 2012.

SILVA, A. A. *et al.* Herbicidas: comportamento no solo. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2007. 367 p.

SILVA, L. M. *et al.* Controle químico de plantas daninhas com diferentes dosagens de herbicida a base de fluroxipir+picloram. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/34598>. Acesso em: 14 fev. 2026.

SILVA, Valdevino Pereira. **Efeito residual de herbicidas aplicados na pré-emergência: relação entre dose, textura de solo e profundidade**. 2023. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) — Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2023. Disponível em: <https://sgppg.com.br/ppg/ppgpv/1/dissertacao-tese/478/>. Acesso em: 20 dez. 2025.

SOUSA, G. V. DE. Comportamento no solo dos herbicidas diuron e hexazinone aplicados isolados e em mistura. **Universidade Federal de Viçosa**, p. 1-58, 2016.
<http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9622> . Acesso em: 17 jan. 2026.

SOUZA, Fábio Cesar Pereira. **Lixiviação e sorção de diuron em solos cultivados com guaranazeiro** (Paullinia cupana, var. Sorbilis (Mart.) Ducke) no Amazonas. 2017. 35 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5865>. Acesso em: 2 nov. 2025.

SOUZA, A. P. *et al.* Lixiviação de glyphosate e imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química. I. Método do bioensaio. **Planta Daninha**, v. 18, p. 5-16, 2000.
Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/pd/a/yx8TS8zMNzYD5s6f9DKCqFd/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 15 jan. 2026.

SOUZA, G. S. F.; PEREIRA, M. R.; MARTINS, D. Baixa umidade do solo na eficácia de herbicidas aplicados em pré-emergência: estudo com sulfentrazone, entre outros. **Bioscience Journal**, Botucatu, v. 30, n. 5, p. 555-562, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/177245>. Acesso em: 2 nov. 2025.

STONE®: Campinas: **FMC Química do Brasil Ltda**, 2024. Disponível em: <https://www.fmcagricola.com.br/Content/Fotos/Bula-Stone.pdf>>. Acesso: 16 jan,2026.

VELINI, E. D. Comportamento de herbicidas no solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE MANEJO DE PLANTAS DANINHAS EM HORTALIÇAS, 1992, **Resumos Botucatu**, p. 44-64 1992.

VIDAL, R.A Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas. **Porto Alegre**, 1997. 165 p.

ZIMDHAL, R.L. Fundamentals of weed science. San Diego, CA: **Academic Press Inc**, p. 450, 1993.

WINTON, K.; WEBER, J. B. A review of field lysimeter studies to describe the environmental fate of pesticides. **Weed Technol**, v. 10, p. 202-209, 1996.