

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

PATRÍCIA BORTOLANZA PEREIRA

SELETIVIDADE DE SULFENTRAZONE E DIURON EM FEIJÃO-
COMUM EM DOIS SOLOS DO PARANÁ

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2021

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

PATRÍCIA BORTOLANZA PEREIRA

**SELETIVIDADE DE SULFENTRAZONE E DIURON EM FEIJÃO-
COMUM EM DOIS SOLOS DO PARANÁ**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2021

PATRÍCIA BORTOLANZA PEREIRA

**SELETIVIDADE DE SULFENTRAZONE E DIURON EM FEIJÃO-COMUM
EM DOIS SOLOS DO PARANÁ**

**Selectivity of sulfentrazone e diuron in common bean in two soils in
Paraná**

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área
de Concentração: Produção Vegetal da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador: Michelangelo Muzell Trezzi

PATO BRANCO

2021



Esta licença permite o download e o compartilhamento da obra desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-la ou utilizá-la para fins comerciais.



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Pato Branco**



PATRICIA BORTOLANZA PEREIRA

SELETIVIDADE DE SULFENTRAZONE E DIURON EM FEIJÃO COMUM EM DOIS SOLOS DO PARANÁ

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Área de concentração: Produção Vegetal.

Data de aprovação: 31 de Agosto de 2021

Prof Michelangelo Muzell Trezzi, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Antonio Pedro Brusamarello, Doutorado - Faculdade Mater Dei (Fmd)

Prof Thiago De Oliveira Vargas, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 10/12/2021.

Aos meus pais, Nelson e Letícia, rocha sólida sobre a qual me apoio,
dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, o autor da vida e destino.

Aos meus pais, Nelson Pereira e Letícia Bortolanza, por todo amor e apoio nas lutas vivenciadas na construção desse trabalho. Obrigada pela confiança depositadas e a todos os sacrifícios para que pudesse alcançar os meus objetivos.

Aos meus avós Hilário Bortolanza, Verginia Bortolanza, Teodora Eleonora Pereira e José Pereira (*in memoriam*), pelo carinho e incentivo ao longo da minha formação, além dos valores e ensinamentos que carrego comigo em todos os momentos. Com amor e saudade.

Ao meu padrinho, Emerson Pereira, pelo incentivo e carinho dedicados durante a graduação e mestrado, bem como na realização dos meus sonhos.

Ao Dr. Michelangelo Muzell Trezzi, pela orientação no mestrado. Ao grupo NIPED (Núcleo de Investigação em Ciência das Plantas Daninhas), de maneira geral, pelas contribuições ao longo das pesquisas desenvolvidas.

Ao Dr. Thiago Vargas, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelo carinho e apoio na concretização desse trabalho. Minha admiração e respeito.

Aos amigos, em especial Angélica Caroline Zatta, Marieli Teresinha Guerrezi, Rafael Henrique Pertille, Lucas Vinicius Dallacorte, Juliane Ropelato, José J. C. Andrade e Alisson Ricardo Schmoller que sempre estiveram presentes nesses dois anos, compartilhando conhecimentos e experiências que tornaram-se um elo forte para a realização desse projeto.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a CAPES, pelo financiamento e oportunidade de realizar este trabalho.

Enfim, a todos que de certa forma estiveram presentes na construção desse trabalho.

Mulheres são como saquinhos de chá: você nunca sabe o quanto elas são fortes, até colocá-las na água quente.

(Eleanor Roosevelt)

RESUMO

PEREIRA, Patrícia Bortolanza. Seletividade de sulfentrazone e diuron em feijão-comum em dois solos do Paraná. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

O processo de seleção de um herbicida deve considerar tanto o sucesso no controle de plantas daninhas quanto a seletividade para uma espécie cultivada. O estudos de eficiência agrônômica dos herbicidas (seletividade e controle) são mais informativos e deveriam ser preferencialmente efetuados em solos com características distintas e também utilizando distintos genótipos. Experimentos efetuados em casa de vegetação da UTFPR, Campus Pato Branco objetivaram determinar a seletividade dos herbicidas sulfentrazone e diuron para *Phaseolus vulgaris* L., aplicados isoladamente ou associados entre si, em solos tipo Argissolo (arenoso) e Latossolo (argiloso). Os ensaios executados foram: (a) ensaio preliminar de dose-resposta com o herbicida diuron; (b) experimentos de dose-resposta com os herbicidas sulfentrazone e sulfentrazone+diuron, em argissolo e latossolo. Foram determinadas a tolerância relativa, altura de planta, área foliar e massa seca de parte aérea do feijoeiro. Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p=0,05$) e as médias ajustadas ao modelo logístico de três parâmetros. As cultivares apresentaram elevada sensibilidade ao herbicida diuron e a dose mínima utilizada, de $87,5 \text{ g ha}^{-1}$, foi suficiente para reduzir os valores das variáveis resposta. O efeito dos tratamentos com sulfentrazone e sulfentrazone+diuron variou conforme a cultivar, dose e solo. De uma forma geral, tanto no latossolo quanto no argissolo, as associações de sulfentrazone+diuron reduziram mais a tolerância das plantas de feijão, em comparação ao sulfentrazone isolado. A seletividade de sulfentrazone e de sulfentrazone+diuron ao feijoeiro foi menor em argissolo do que em latossolo. As doses necessárias para atingir 50% de redução da tolerância ou do desenvolvimento das plantas (D_{50}) revelaram tolerância aos tratamentos herbicidas muito superior da cultivar BRSMG Talismã em relação a IAC Imperador. Houve efeito protetor de diuron sobre a fitotoxicidade gerada por sulfentrazone em algumas combinações entre esses herbicidas, o que deve ser melhor esclarecido em novos estudos.

Palavras-chave: Herbicidas. Tolerância. Plantas – Proteção.

ABSTRACT

PEREIRA, Patrícia Bortolanza. Sulfentrazone and diuron selectivity in common bean in two Paraná soils. 67 f. Dissertation (Masters in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Crop), Federal University of Technology - Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

The selection process for an herbicide must consider both successful weed control and selectivity for a cultivated species. Agronomic efficiency studies of herbicides (selectivity and control) are more informative and should preferably be carried out both in soils with distinct characteristics and using distinct genotypes. Experiments carried out in a greenhouse at UTFPR, Campus Pato Branco, aimed to determine the selectivity of the herbicides sulfentrazone and diuron for *Phaseolus vulgaris* L., applied alone or in association with each other, in soils Argisol (sandy) and Oxisol (clay) types. The tests performed were: (a) preliminary dose-response experiment with the herbicide diuron; (b) dose-response experiments with the herbicides sulfentrazone and sulfentrazone+diuron, in Argisol and Oxisol. Relative tolerance, plant height, leaf area and shoot dry mass of common bean were determined. Data were subjected to analysis of variance using the F test ($p=0.05$) and the means were adjusted to the three-parameter logistic model. The cultivars showed high sensitivity to diuron herbicide and the minimum dose used, 87.5 g ha⁻¹, was sufficient to reduce plant bean tolerance. The effect of treatments with sulfentrazone and sulfentrazone+diuron varied according to cultivar, dose and soil. In general, both in the Oxisol and in the Argisol, the associations of sulfentrazone+diuron reduced more the tolerance of the bean plants, compared to sulfentrazone alone. The selectivity of sulfentrazone and sulfentrazone+diuron to common bean was lower in Argisol than in Oxisol. The doses necessary to achieve 50% reduction in plant tolerance or development (D_{50}) revealed much higher tolerance to herbicide treatments for cultivar BRSMG Talismã than for IAC Imperador. There was a protective effect of diuron on the phytotoxicity generated by sulfentrazone in some combinations between these herbicides, which should be better clarified in further studies.

Keywords: Herbicides. Tolerance. Plants – Protection.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Tolerância relativa (%) aos 14 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob diferentes doses do herbicida diuron. Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.....32
- Figura 2 – Tolerância relativa (%) aos 21 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã a diferentes doses do herbicida diuron. Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.....33
- Figura 3 – Altura de planta (cm) aos 14 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob diferentes doses do herbicida diuron. (A) valores apresentados em centímetros (cm) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.....35
- Figura 4 – Altura de planta aos 21 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob diferentes doses do herbicida diuron. (A) valores apresentados em centímetros (cm) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.....35
- Figura 5 – Área foliar de plantas de feijão-comum aos 28 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob diferentes doses do herbicida diuron. (A) valores apresentados em centímetros (cm²) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.....36
- Figura 6 – Massa da parte aérea seca de plantas de feijão-comum aos 28 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob diferentes doses do herbicida diuron. (A) valores apresentados em centímetros (cm) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021..... 37
- Figura 7 – Tolerância relativa (%) aos 7 (A) e 28 dias após aplicação (DAA) (B) referente as cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em pré-emergência em diferentes doses. Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021..... 39
- Figura 8 – Altura de planta (cm) aos 7 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. (A) valores apresentados em centímetros (cm) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021..... 42
- Figura 9 – Altura de planta (cm) aos 21 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. (A) valores apresentados em centímetros (cm) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021..... 43
- Figura 10 – Área foliar de plantas de feijão-comum aos 28 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. (A) valores apresentados em cm² e (B) valores percentuais (%) relativos à testemunha. Barras correspondem ao erro padrão média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021..... 44
- Figura 11 – Massa da parte aérea seca de plantas de feijão-comum aos 28 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, combinadas com sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. (A) valores apresentados em g pl⁻¹ e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021..... 45

- Figura 12 – Tolerância relativa (%) aos 7 (A) e 28 dias após aplicação (DAA) (B) referente as cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.....48
- Figura 13 – Altura de planta (cm) aos 7 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. (A) valores apresentados em centímetros (cm) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021..... 52
- Figura 14 – Altura de planta (cm) aos 21 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. (A) valores apresentados em centímetros (cm) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021..... 53
- Figura 15 – Área foliar de plantas de feijão-comum aos 28 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, ob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. (A) valores apresentados em centímetros quadrados (cm²) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.....54
- Figura 16 – Massa da parte aérea seca de plantas de feijão-comum aos 28 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, ob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. (A) valores apresentados em g pl⁻¹ e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.....54

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Distribuição granulométrica e atributos químicos do Latossolo Vermelho Escuro Distrófico. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.....28
- Tabela 2 – Distribuição granulométrica e atributos químicos do Argissolo Vermelho Distrófico Típico. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.....28
- Tabela 3 – Parâmetros das equações¹ e coeficiente de determinação (R^2) para as variáveis tolerância relativa (TR) e altura de planta (AP) aos 14 e 21 DAA, área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) em função da aplicação de doses de diuron em duas cultivares defeijão-comum. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.....34
- Tabela 4 – Parâmetros das equações¹ e coeficiente de determinação (R^2) para as variáveis tolerância relativa (TR) e altura de planta (AP) aos 7 e 21 DAA, área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) em função da aplicação de doses dos herbicidas sulfentrazone e sulfentrazone+diuron feijão-comum. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.....40
- Tabela 5 – Parâmetros das equações¹ e coeficiente de determinação (R^2) para as variáveis tolerância relativa (TR) e altura de planta (AP) aos 7 e 21 DAA, área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) em função da aplicação de doses dos herbicidas sulfentrazone e sulfentrazone+diuron feijão-comum. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.....50

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

CONABE	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
MAPA	Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento
PR	Unidade da Federação – Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE ABREVIATURAS

AF	Área foliar
AP	Altura de planta
cm	Centímetros
DAA	Dias após aplicação
D ₂₀	Dose necessária para reduzir 20% a variável
D ₅₀	Dose necessária para reduzir 50% a variável
FSII	Fotossistema II
g	Gramas
ha	Hectare
K _d	Coeficiente de partição no solo
K _H	Constante de Henry
K _{oc}	Coeficiente de partição em matéria orgânica
K _{ow}	Coeficiente de distribuição octanol-água
MPAS	Massa de parte aérea seca
pH	Potencial hidrogeniônico
pl	Planta
PROTOX	Protoporfirinogênio oxidase
pKa	Constante de dissociação eletrolítica
PV	Pressão de vapor
TR	Tolerância relativa
S	Solubilidade
v/v	Volume por volume

LISTA DE SÍMBOLOS

°	Grau
%	Porcentagem
>	Maior que
<	Menor que
=	Igual
ns	Não significativo
$p \leq 0,05$	Diferença significativa em 5% de probabilidade de erro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Hipóteses.....	17
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Geral.....	17
1.2.2 Específicos.....	17
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 Cultura do feijão-comum e o manejo de plantas daninhas.....	18
2.2 Herbicidas pré-emergentes e a dinâmica no solo.....	19
2.3 Herbicidas Inibidores de Protoporfirogênio Oxidase.....	22
2.4 Herbicidas Inibidores de Fotossistema II.....	24
2.5 Mecanismos de destoxificação do herbicida.....	25
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1 Aspectos gerais.....	28
3.2 Experimento preliminar com o herbicida Diuron.....	29
3.3 Curva de dose-resposta aos herbicidas Sulfentrazone e Sulfentrazone+Diuron, em dois tipos de solo.....	30
3.4 Avaliações gerais e análise estatística.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1 Experimento preliminar com o herbicida Diuron.....	32
4.2 Curva de dose-resposta aos herbicidas Sulfentrazone e Sulfentrazone+Diuron, em dois tipos de solo.....	37
4.2.1 Solo argiloso.....	37
4.2.2 Solo arenoso.....	47
5 CONCLUSÕES.....	56
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

A interferência das plantas daninhas é um fator determinante da produtividade do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.). A cultura apresenta baixa competitividade por água, luz e nutrientes e baixa capacidade de sombreamento do solo, que refletem em prejuízos no crescimento das plantas, na produção e no manejo da colheita (TEIXEIRA *et al.*, 2009). O controle químico é o método de manejo de plantas daninhas mais empregado, devido a sua maior praticidade e eficiência.

O número de herbicidas registrados para a cultura do feijão pode ser considerado pequeno, em relação a outras culturas com maior expressão econômica. Na cultura do feijão, as alternativas de controle de plantas daninhas dicotiledôneas é bastante limitada. Além disso, nessa cultura estão registrados no Brasil apenas a trifluralina, o pendimethalin e o S-metolachlor na modalidade de pré-emergência.

A modalidade de aplicação de herbicidas pré-emergentes consiste na sua aplicação após o plantio e antes da emergência da cultura e das plantas daninhas (FERREIRA *et al.*, 2015). Essa modalidade destaca-se porque o controle das plantas daninhas ocorre em estádios iniciais de desenvolvimento, que é o momento em que elas estão mais suscetíveis aos herbicidas, com redução da competição inicial com a espécie cultivada. O efeito residual de herbicidas pré-emergentes proporciona o controle de diferentes fluxos de emergência de plantas daninhas que estão no banco de sementes, mantendo as plantas cultivadas com menor pressão de plantas daninhas por vários estádios de desenvolvimento.

Os herbicidas sulfentrazone e diuron não apresentam registro para a cultura do feijão. Trabalhos de pesquisa conduzidos fora do Brasil e no país comprovam o potencial do herbicida sulfentrazone para uso na cultura do feijão (BRUSAMARELLO, 2019; VIECELLI *et al.*, 2021).

O herbicida sulfentrazone, com registro para as culturas da soja, citros, cana-de-açúcar, fumo, café e abacaxi (FMC, 2019), pertence aos inibidores da enzima Protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), no grupo químico das Triazolinonas. Os inibidores da PROTOX atuam na rota de síntese da clorofila e dos citocromos

(síntese de porfirinas ou tetrapirroles), com sintomas como clorose, branqueamento, dessecação e necrose (MEROTTO JR; VIDAL, 2001). A meia-vida de sulfentrazone no solo é estimada entre 110 e 280 dias, variando a partir das condições edafoclimáticas locais (FMC, 1995). Atualmente, apresenta formulação comercial denominada Stone®, associada ao herbicida diuron.

Estudos com o herbicida diuron que revelem a seletividade ao feijoeiro são praticamente inexistentes. Entretanto, as pesquisas nessa área se justificam porque este herbicida controla grande variedade de espécies daninhas monocotiledôneas (AGROFIT, 2021), e assim poderia ser uma alternativa para associação com herbicidas que controlam predominantemente espécies daninhas dicotiledôneas. O herbicida diuron, pertence aos inibidores de fotossistema II e grupo químico das ureias. Os inibidores do fotossistema II atuam interferindo no fluxo de elétrons, ligando-se à proteína D1 no sítio de ligação à plastoquinona Qb (FLECK; VIDAL, 2001) com interferência na formação de diidronicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato (NADPH), adenosina trifosfato (ATP) e no ciclo de redução de carbono (GEMELLI *et al.*, 2016). Os herbicidas desse mecanismo geram sintomas de clorose foliar entre as nervuras do limbo foliar, seguidos de necrose dos tecidos. O diuron possui coeficiente de distribuição octanol-água (Kow) de 589, sendo um herbicida não-iônico sem carga livre e seu período de meia-vida no solo é estimado em 90 dias (WSSA, 2007).

A seletividade de um herbicida deve aliar tanto o sucesso no controle químico de plantas daninhas quanto o potencial de uso na espécie cultivada. Assim, quanto maior a razão de tolerância entre a cultura e a planta daninha, maior a segurança no manejo e registro para aplicação (OLIVEIRA JÚNIOR; CONSTANTIN; INOUE, 2011). Para selecionar doses de herbicidas que controlem plantas daninhas e sejam seletivas para espécies cultivadas, deve-se considerar o tipo de solo, principalmente os teores de matéria orgânica e de argila do solo, além do tipo de argila presente. Os colóides orgânicos e minerais do solo são os maiores responsáveis pela adsorção das moléculas aplicadas, e a porção não adsorvida fica disponível para absorção pela planta (FERREIRA *et al.*, 2015), o que pode influenciar na toxicidade à cultura e efeito sobre as plantas daninhas

Considerando isso, os estudos de eficiência agrônômica dos herbicidas

(seletividade e controle) são mais informativos e devem ser preferencialmente efetuados em solos com características de composição textural e teores de matéria orgânica distintos.

1.1 Hipóteses

A aplicação dos herbicidas sulfentrazone e diuron poderão gerar injúrias à cultura do feijão, especialmente em cultivar mais sensível aos herbicidas e em solo com baixo teor de argila e de matéria orgânica.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Determinar a seletividade dos herbicidas sulfentrazone e diuron para feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), aplicados isoladamente ou em associação entre si, em dois tipos de solos do estado do Paraná.

1.2.2 Específicos

- Determinar a seletividade dos herbicidas sulfentrazone e diuron e da associação sulfentrazone + diuron para o feijão-comum.
- Determinar diferenças de seletividade do herbicida sulfentrazone e da associação sulfentrazone + diuron entre cultivares de feijão-comum.
- Determinar diferenças de seletividade do herbicida sulfentrazone e da associação sulfentrazone + diuron entre um latossolo e um argissolo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do feijão-comum e o manejo de plantas daninhas

Com consumo interno de 3,050 milhões de toneladas, o feijão-comum é uma das culturas de lavoura mais representativas no Brasil, com produção na safra de 2020/2021 de 3,077 milhões de toneladas do grão, em uma área equivalente a 2,9416 milhões de hectares. Entre os estados produtores, o Paraná obteve a produção de 143,5 mil toneladas de feijão-comum cores e 172,8 mil toneladas de feijão-comum preto (CONAB, 2021).

Considerada de ciclo curto, a cultura agrega vantagens na adequação de janelas de plantio no mesmo ano-safra. Ou seja, no zoneamento agrícola do MAPA em 2013 (MAPA, 2021) o cultivo do feijão-comum pode ser realizado no estado do Paraná, em três safras: “safra das águas”, responsável pela metade da produção brasileira, “safra da seca” e a “safra de outono/inverno”.

Entre os fatores influentes na produtividade do feijão-comum destaca-se a interferência das plantas daninhas. A cultura apresenta baixa competitividade (por água, luz e nutrientes) e capacidade de sombreamento do solo, que refletem em prejuízos no crescimento, na produção e no manejo de colheita (TEIXEIRA *et al.*, 2009).

Considerando-se os períodos de interação da cultura com as espécies infestantes, PAI (período anterior à interferência), PTPI (período total de prevenção à interferência) e PCPI (período crítico de prevenção à interferência), trabalhos demonstraram para o feijão-comum o PCPI entre 15 e 30 dias após a emergência da cultura (SALGADO *et al.*, 2007; PARREIRA, 2009). Ou seja, o período que deve-se evitar a presença de plantas daninhas para não haver perdas na produtividade, bem como qualidade do grão (VIDAL, 2010).

Pesquisas envolvendo aspectos morfológicos e fisiológicos do feijoeiro e de espécies daninhas (*Bidens pilosa*, *Desmodium tortuosum* e *Euphorbia heterophylla*) demonstraram que, apesar da baixa produção de massa e enfolhamento comparadas à cultura, as espécies infestantes obtiveram melhor aproveitamento da radiação por unidade de área foliar, bem como na utilização da

água (PROCÓPIO *et al.*, 2004), sobressaindo-se sobre a cultura comercial. Além disso, trabalhos analisando a variação competitiva entre as cultivares de feijão-comum e as espécies daninhas *Euphorbia heterophylla*, *Bidens pilosa*, *Cenchrus echinatus*, *Amaranthus spinosus*, *Commelina benghalensis* e *Brachiaria plantaginea* por meio da avaliação do seu estado nutricional, destacam a sensibilidade da cultura (CURY *et al.*, 2013).

A infestação de plantas daninhas pode resultar em redução do rendimento de grãos de até 80%, com aumento da estatura e acamamento das plantas (VIDAL *et al.*, 2010; KALSING; VIDAL, 2012). Isso indica a necessidade de manejos eficientes e integrados, que condicionem o potencial produtivo do feijão-comum.

O controle químico de plantas daninhas é o método mais utilizado na cultura do feijão, o qual apresenta vantagens quando aplicado adequadamente. Dentre os herbicidas registrados para o manejo químico no controle de espécies daninhas na cultura; estão a trifluralina, pendimethalin e S-metolachlor em pré-emergência, e bentazon, cletodim, diclofop-metilico, fluazifop-P-butílico e fomesafen em aplicação pós-emergente (MOREIRA; GONZAGA; COBUCCI, 2021).

2.2 Herbicidas pré-emergentes e a dinâmica no solo

A utilização de herbicidas pré-emergentes consiste na sua aplicação após o plantio e antes da emergência da cultura e das plantas daninhas (FERREIRA *et al.*, 2015). Essa modalidade destaca-se pelo controle das espécies infestantes ocorrer em estádios iniciais de desenvolvimento, que consiste no momento em que estão mais suscetíveis aos herbicidas. Nas aplicações em pré-emergência busca-se eficiência de controle no período crítico de competição com a cultura (MONQUEIRO *et al.*, 2008).

O efeito residual de herbicidas pré-emergentes proporciona o controle de diferentes fluxos de emergência de plantas daninhas que estão no banco de sementes, mantendo as plantas cultivadas com menor pressão de plantas daninhas por vários estádios de desenvolvimento. Essa estratégia aumenta as opções de herbicidas de distintos mecanismos de ação que podem ser utilizados durante o

ciclo de cultivo, reduzindo o processo seletivo de plantas daninhas tolerantes e resistentes. Atualmente, os produtos pré-emergentes registrados para a cultura do feijão-comum correspondem a trifluralina, o pendimethalin e o S-metolachlor, que são predominantemente graminicidas (ADAPAR, 2021).

A dinâmica dos herbicidas no ambiente resulta da interação dos processos químicos, físicos e biológicos. A partir da retenção, transporte ou degradação das moléculas (FERRI; RIZZARDI, 2001). O processo de transporte consiste no carregamento da molécula, sem alteração na estrutura, do local alvo de aplicação. Assim, os processos como o arraste das gotas de pulverização fora do local alvo pela ação do vento (deriva), a mudança do estado físico da molécula — sólido ou líquido — para gasoso (volatilização), bem como os processos de escoamento superficial (erosão) ou sub-superficial (lixiviação) fazem parte do transporte (CARVALHO, 2013).

A retenção do herbicida no solo se dá pela ligação através de ligações covalentes entre as moléculas e as partículas de argilominerais, bem como a sorção, tanto pelos processos de adsorção (retenção das moléculas pelos colóides do solo) e dessorção (passagem da fase adsorvida à solução do solo) (CARVALHO, 2013; DE OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011).

A transformação consiste em alterações na estrutura química da molécula do herbicida, com a degradação em compostos secundários e/ou mineralização. O processo envolve a degradação química, pelas reações de hidrólise e oxirredução; biodegradação mediada por microrganismos a partir da conjugação e destoxificação, com a formação de compostos atóxicos. Ainda, a degradação pela luz, fotodegradação ou fotólise devido a elevação de energia absorvida pela molécula do herbicida, condicionando instabilidade na estrutura química e quebra de reações (CARVALHO, 2013; DE OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011).

O comportamento de adsorção e dessorção desses herbicidas no solo podem ser variáveis conforme o material de origem e estrutura do solo, os tipos de minerais da fração argila, grupos funcionais, características químicas do solo como potencial hidrogênio iônico (pH), capacidade de troca de cátion (CTC), capacidade de troca de ânion (CTA) e a quantidade da matéria orgânica, bem como as

condições climáticas locais (WEBER *et al.*, 2004).

As propriedades físico-químicas das moléculas de herbicidas influenciam na dinâmica da molécula no ambiente (OLIVEIRA, 2001). Entre elas, a pressão de vapor (PV) que consiste na capacidade de alteração do estado físico da forma líquida ou sólida para gasosa, ou seja, herbicidas com valores elevados de PV são sujeitos a volatilização. Outra característica é a solubilidade em água (S), sendo que valores elevados indicam menor volatilização da molécula devido ao calor específico da água. A razão PV/S condiz com a constante de Henry (K_H), que explica o comportamento volátil das moléculas, de modo que quanto maiores os valores de K_H mais voláteis são os herbicidas (CARVALHO, 2013).

A constante de dissociação eletrolítica (pK_a/pK_b), corresponde ao potencial de dissociação de um ácido ou base em função dos valores de pH, em meio líquido. Logo, quando o pH da solução é maior que pK_a+1 , tem-se que acima de 90% das moléculas do herbicida encontram-se dissociados e são repelidas pelas cargas negativas do solo. Todavia, quando o pH da solução é menor que pK_a-1 , acima de 90% das moléculas do produto na forma catiônica, ou seja, há a sorção significativa às partículas do solo (OLIVEIRA JR; REGITANO, 2009).

Os grupos funcionais específicos na estrutura química do herbicida, como hidroxila, amina, amida, fenol, carboxílico, sulfona, fosfônico atribui a capacidade de ionização dos herbicidas, bem como mudanças de um grupo funcional pode alterar a volatilidade, solubilidade e os mecanismos de sorção das moléculas (OLIVEIRA JR; REGITANO, 2009).

O coeficiente de partição octanol/água (K_{ow}) condiz com hidrofobicidade da molécula, ou seja, o potencial de diluição em água ou solvente orgânico. Propriedades como o coeficiente de partição no solo (K_d) e em matéria orgânica (K_{oc}), estimam a capacidade de retenção dos herbicidas pelo solo (CARVALHO, 2013). A sorção de herbicidas básicos e não-iônicos é influenciada pelo teor de carbono orgânico do solo (OLIVEIRA JR *et al.*, 2001). Pesquisas demonstraram que houve o incremento da sorção dos herbicidas metribuzin, diuron, 2,4-D, saflufenacil e atrazina com o aumento dos teores de matéria orgânica (MALLAWATANTRI; MULLA, 1992; BARCELLOS JÚNIOR, 2018; LOPES, 2020).

A persistência do herbicida no solo está relacionada, dentre outros

fatores, a degradação da molécula tanto na planta quanto no solo. Logo, o tempo de meia vida caracteriza o período para que 50% da massa molecular do herbicida degradada, influenciando na dinâmica dos herbicidas pré-emergentes (CARVALHO, 2013).

Esses fatores são fundamentais para prever o comportamento no solo, devido a variação de classes de solos e adequação das dosagens aplicadas, reduzindo o risco de efeitos prejudiciais a cultura e as subsequentes. Estudos demonstram que em solos arenosos tem-se maior lixiviação das moléculas, ao contrário do observado em solos argilosos e/ou siltosos (ROSSI *et al.*, 2005). Ainda, em solos com baixa CTC efetiva e teores de matéria orgânica, obteve-se maior toxicidade do herbicida S-metolachlor ao sorgo-granífero (*Sorghum bicolor*) (PROCÓPIO *et al.*, 2001).

2.3 Herbicidas Inibidores de Protoporfirogênio Oxidase

Os herbicidas Inibidores de Protoporfirogênio Oxidase (PROTOX), compõem diferentes grupos químicos, como os difeniléteres (acifluorfen, lactofen e oxyfluorfen), ftalamidas (flumiclorac e flumioxazin), triazolinonas (carfentrazone e sulfentrazone) e oxadiazoles (oxadiazon) (MEROTTO JÚNIOR; VIDAL, 2001). Esse mecanismo de ação envolve a 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; NETTO, 2016).

A presença de herbicida desse mecanismo de ação condiciona a inibição competitiva da enzima PROTOX, que ocasiona o acúmulo de protoporfirinogênio-IX no cloroplasto da célula. O aumento da concentração nessa organela promove a difusão para o citoplasma, onde há a conversão em protoporfirina-IX (JACOBS; JACOBS, 1993) que caracteriza-se como altamente fotodinâmica (MEROTTO JÚNIOR; VIDAL, 2001). Na presença de luz e oxigênio molecular origina-se o oxigênio singleto (CARVALHO; NETTO, 2016), que provoca a peroxidação dos lípidos da membrana e morte celular.

Os herbicidas inibidores da PROTOX apresentam amplo espectro de

controle de plantas daninhas, para espécies anuais dicotiledôneas e algumas monocotiledôneas, com aplicação em pré e pós-emergência. Entre as características físico-químicas apresentam baixa suscetibilidade a volatilização devido a baixa pressão de vapor, boa solubilidade em água, com pKa's entre 2,7 a 6,7 (MEROTTO JÚNIOR; VIDAL, 2001). Em geral o coeficiente de partição octanol/água (K_{ow}) dessa classe, tem valores variáveis entre os compostos.

Dentre os sintomas gerados por herbicidas desse mecanismo de ação, destacam-se o branqueamento, dessecação e necrose dos tecidos vegetais. Os sintomas iniciam-se uma hora após a exposição da planta a luz, ocorrendo a quebra eletrolítica e redução da produção de ascorbato e glutatona, bem como a redução da síntese de clorofila (MEROTTO JÚNIOR; VIDAL, 2001).

A aplicação em pré-emergência desse grupo de ingredientes ativos condicionam a morte da planta devido o contato com a camada de solo tratada (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011). Espécies 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).

O herbicida sulfentrazone, com registro para as culturas da soja, citros, cana-de-açúcar, fumo, café e abacaxi (FMC, 2019), pertence ao grupo químico das Triazolinonas. Dentre suas propriedades físico-químicas, sulfentrazone é um ácido fraco, que apresenta coeficiente de distribuição octanol-água (K_{ow}) de 9,8, o que indica características hidrofílicas e solubilidade em água com aumento do pH do solo (WSSA, 2007). Em solos com pH superior ao seu pK_a (6,5), esse herbicida se dissocia e uma maior porcentagem estará na forma iônica, com maior atividade herbicida.

A sua meia-vida no solo é estimada entre 110 e 280 dias, variando a partir das condições edafoclimáticas locais (FMC, 1995). Estudos avaliando a persistência no solo e toxicidade de sulfentrazone as culturas do girassol, milho, aveia, feijão e trigo em áreas após o cultivo de soja, demonstraram efeito significativo do resíduo do herbicida no desenvolvimento e rendimento para o milho e aveia (BLANCO; VELINI, 2005), variando para as demais culturas.

Alguns trabalhos foram realizados testando sulfentrazone em pré-emergência de feijoeiro no Canadá (SOLTANI *et al.*, 2015; TAZIAR *et al.*, 2016;

TAZIAR *et al.*, 2016; TAZIAR *et al.*, 2017) e no Brasil (BRUSAMARELLO *et al.*, 2021; VIECELLI *et al.*, 2021) foram observados diferentes níveis de tolerância entre classes comerciais (feijão adzuki e branco mais sensíveis que os vermelhos), mas também foram determinadas doses consideradas seguras para uso, dependendo da classe comercial. Considerando-se que existe uma carência de opções de herbicidas para pré-emergência de feijão-comum e que sulfentrazone é indicado para controle de ampla gama de plantas daninhas dicotiledôneas, é evidente seu potencial na cultura do feijoeiro.

2.4 Herbicidas Inibidores de Fotossistema II

Os herbicidas inibidores de Fotossistema II são representados por diferentes grupos, como as triazinas (atrazina, ametryn, cyanazine, prometryn, simazine), as ureias (diuron, linuron, tebuthiuron), uracilas (bromacil) e nitrilas (ioxynil) (FLECK; VIDAL, 2001). Esse mecanismo de ação envolve a interrupção do fluxo de elétrons ligando-se à proteína D1 no sítio de ligação à plastoquinona Qb. Os herbicidas desse grupo químico são agentes de ligação competitivos com a plastoquinona Qb na proteína D1, o que condiciona o deslocamento de Qb, interrompendo a transferência de elétrons do FSII para o complexo Cyt b/f (FLECK; VIDAL, 2001).

A interrupção do fluxo de elétrons impede a formação de diidronicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato (NADPH), adenosina trifosfato (ATP), além da interferência no ciclo de redução de carbono. Sendo que, a absorção e transferência de energia no local de ação do herbicida permanecem, o que condiciona a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) (GAMELLI *et al.*, 2016). Esse processo é condicionado por dois mecanismos, o primeiro com o excesso de clorofila tripleto inicia a peroxidação de lipídios através da formação direta de radicais lipídicos em ácidos graxos insaturados; o segundo processo dá-se pela reação com o oxigênio na formação de oxigênio simples e formação de radicais lipídicos em ácidos graxos insaturados radicais lipídicos em ácidos graxos insaturados (FLECK; VIDAL, 2001).

Os herbicidas inibidores de fotossistema II apresentam amplo espectro

de controle de plantas daninhas dicotiledôneas e algumas monocotiledôneas, em pré e pós-emergência das culturas. Entre as características físico-químicas de herbicidas do grupo químico das ureias, destacam-se a ausência de constante de dissociação (pK_a), coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) variável de 63 a 1010, com média lipofilicidade e rápida adsorção ao solo (FLECK; VIDAL, 2001). Herbicidas do grupo das uréias são absorvidos rapidamente pelas raízes das plantas.

Dentre os sintomas desse mecanismo de ação, destacam-se a clorose foliar e entre as nervuras do limbo foliar, seguida de necrose dos tecidos. As injúrias visuais são observadas em poucos dias após a aplicação, com áreas verde-claras que progridem para manchas “encharcadas” e então necróticas. Em doses baixas, as plantas apresentam murchamento, com formação de pústulas acinzentadas ou prateadas, seguindo de clorose e necrose. Os sintomas podem variar conforme as espécies, em dicotiledôneas surgem nas margens ou extremidades do limbo foliar em direção ao pecíolo, já nas monocotiledôneas iniciam na ponta para a base do limbo foliar (FLECK; VIDAL, 2001).

Entre as moléculas pertencentes ao grupo químico das ureias, o herbicida diuron apresenta registro para as culturas do algodão, café, eucalipto, cana-de-açúcar, citros e soja. O produto comercial Stone® resulta da associação entre diuron e sulfentrazone (FMC, 2020). Dentre suas propriedades físico-químicas, o diuron possui coeficiente de distribuição octanol-água (K_{ow}) de 589, é um herbicida não-iônico sem carga livre e seu período de meia-vida no solo é estimado entre 90 dias (WSSA, 2007).

A seletividade às espécies cultivadas aos herbicidas do grupo das uréias dá-se pela translocação e metabolismo diferenciadas. É variável de acordo com a solubilidade da molécula em água, das características do solo e capacidade de adsorção e sorção do herbicida, bem como a tolerância pela espécie (DAN HESS, 1994).

2.5 Mecanismos de destoxificação do herbicida

A seletividade dos herbicidas está relacionada a fatores como a ação

diferencial no sítio de ação da enzima, a sensibilidade as espécies reativas de oxigênio e a degradação da molécula do herbicida (DUKE *et al.*, 1991). A ação da metabolização da molécula pela planta permite, a partir da degradação ou alteração da estrutura química do herbicida, o surgimento de substâncias não tóxicas (OLIVEIRA JÚNIOR; CONSTANTIN; INOUE, 2011).

O processo de detoxicação compreende quatro fases. A primeira fase, consiste na conversão da molécula do herbicida por alterações na estrutura química através da oxidação, redução, hidrólise, oxigenação ou hidroxilação pela ação das enzimas do citocromo P450 monooxigenase (YUAN *et al.*, 2007; POWLES; YU, 2010). Essas enzimas ficam localizadas no retículo endoplasmáticos e membrana dos plastídios da maioria dos organismos e estão envolvidas na síntese de hormônios derivados de ácidos graxos e também no metabolismo secundário das plantas. A reação enzimática catalizada pelas mesmas utiliza elétrons do NADPH com ativação do oxigênio pela citocromo P450 redutase, adicionando um átomo de oxigênio molecular ao substrato e outro reduzido na formação de água (COBB; READE, 2010), formando compostos com menor atividade molecular.

Na segunda fase, a molécula do herbicida ou a resultante, são conjugadas com substratos hidrofóbicos ou eletrofílicos, como açúcar e aminoácidos; pela ação das enzimas da família da Glutathione S-transferase (GST), que condiciona o aumento da solubilidade em água e redução da injúria do herbicida (READE *et al.*, 2004; CARVALHO *et al.*, 2009; AKBULUT *et al.*, 2018). Na célula, as GST ativam a GSH que conjugam o substrato tóxicos, como os herbicidas, convertendo em S-glutationilados (EDWARDS *et al.*, 2000).

A GST podem ser inibidas por inseticidas organofosforados, que são usado como uma ferramenta indireta para demonstrar que a desintoxicação é o mecanismo de tolerância a herbicidas nas plantações (PAGNONCELLI *et al.*, 2016). É relatado ainda que tem outros mecanismos de ação dos protetores de herbicida, como o aumento da atividade da polifenol oxidase (PPO) e da UDP-glucuronosiltransferases (UGTs) (DENG *et al.*, 2021).

Na terceira fase, os produtos das fases anteriores são transportados para o vacúolo pelos transportadores ABC, sendo processados pela ação de transportadores específicos da classe ATP-ligantes cassete (EDWARDS *et al.*,

2000). Para a fase final, os metabólitos resultantes são associados aos compostos da parede celular, como a pectina, lignina, proteínas e polissacarídeos na formação de resíduos insolúveis (YUAN *et al.*, 2007; DALAZEN *et al.*, 2016).

Nesse aspecto, o uso de *safeners* conferem as culturas proteção quanto as injúrias ocasionais dos herbicidas, sem comprometer a germinação e desenvolvimento, sem comprometer o controle das plantas daninhas (DA SILVA *et al.*, 2014; GIANNAKOPOULOS *et al.*, 2020; PAPORISCH; RUBIN, 2017; ZHANG; YANG, 2021). Os protetores químicos podem ser aplicados diretamente nos campos cultivados, antes do tratamento com herbicidas, ou mesmo concomitantemente com a pulverização de herbicidas, ou até mesmo por meio de tratamento de sementes (BARTUCCA *et al.*, 2017).

Os *safeners* atuam elevando a expressão das enzimas de metabolização e destoxificação, como as enzimas glutathione S-transferase (GST) e as do citocromo P450 monooxigenases (WERCK-REICHHART *et al.*, 2000), aumentando a capacidade de a cultura degradar a molécula do herbicida e induzir o transporte de conjugados de glutathione ou glicose-herbicida para o vacúolo (HATZIOS; BURGOS, 2004, DEL BUONO *et al.*, 2020). Os protetores funcionam predominantemente aumentando a atividade das monooxigenases e transferases do citocromo P450 que catalisam as reações de fase I ou II envolvidas no metabolismo do herbicida (ELMORE *et al.*, 2015; SUN *et al.*, 2018; DEL BUONO *et al.*, 2020). Além disso, podem atuar na planta diminuindo a absorção e translocação de herbicidas nas plantas, ou por meio da redução da capacidade dos herbicidas de atingirem seus locais-alvo (DAVIES *et al.*, 1998; KRAEHMER *et al.*, 2014; SUN *et al.*, 2018).

Como a utilização de *safeners* influencia na seletividade dos herbicidas às culturas, esses produtos poderão ser extremamente importantes em situações em que herbicidas e doses apresentam risco de gerar toxicidade para uma determinada cultura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Aspectos gerais

Os experimentos foram desenvolvidos em casa de vegetação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB), localizada na latitude 26° 13' S e longitude 52° 40' W, durante os anos de 2019 e 2020.

No experimento preliminar, foram utilizados dois tipos de solo, o primeiro um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico coletado no município de Pato Branco-PR, cuja descrição análise física/química está na Tabela 1. O segundo foi um Argissolo Vermelho Distrófico Típico coletado no município de Paranavaí-PR, cuja análise física/química está na Tabela 2.

O primeiro experimento definitivo foi implantado no Latossolo e o segundo experimento definitivo no Argissolo, ambos descritos acima.

Tabela 1 – Distribuição granulométrica e atributos químicos do Latossolo Vermelho Escuro Distrófico. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.

Distribuição granulométrica		Atributos químicos	
Componente	%	Componente	Valor
Argila	72,00	MO	41,55 g dm ⁻³
Areia	5,60	P ₂ O ₅	7,93 mg dm ⁻³
Silte	22,40	K ₂ O	0,49 cmol _c dm ⁻³
		CTC	14,94
		pH	6,10
		H+Al	2,95 cmol _c dm ⁻³

Tabela 2 – Distribuição granulométrica e atributos químicos do Argissolo Vermelho Distrófico Típico. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.

Distribuição granulométrica		Atributos químicos	
Componente	%	Componente	Valor
Argila	13,00	MO	16,08 g dm ⁻³
Areia	85,50	P ₂ O ₅	11,39 mg dm ⁻³
Silte	1,20	K ₂ O	0,26 cmol _c dm ⁻³
		CTC	5,45
		pH	5,10
		H+Al	2,19 cmol _c dm ⁻³

Os solos foram secos à sombra e posteriormente peneirados em malha 5 mm, fertilizados conforme a análise química, e depositado em vasos com

capacidade de 2000 cm³.

Com base em uma avaliação preliminar do percentual de germinação das sementes de feijão, efetuada em caixas gerbox, em câmara de crescimento do tipo BOD, foi realizada a semeadura em vasos, em casa de vegetação, objetivando-se manter três plantas viáveis por vaso. Diariamente, foi realizada a irrigação manual para manutenção do teor de umidade próximo ao ponto máximo da capacidade de retenção (capacidade de campo) respectivo a cada solo.

3.2 Experimento preliminar com o herbicida Diuron

O ensaio preliminar foi efetuado com a finalidade de definir a dose discriminadora do herbicida diuron para o experimento seguinte (item 3.3).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizados (DIC), com quatro repetições por tratamento, em um esquema fatorial 2 x 6. O primeiro fator constou de dois genótipos de feijão (IAC Imperador e BRSMG Talismã) e o segundo fator de seis doses de diuron (0, 87.5, 175, 350, 525 e 700 g ha⁻¹) aplicadas em pré-emergência, com base na dose de 1,0 L da formulação comercial Stone® (sulfentrazone+ diuron), recomendada para cultura da soja, em que a concentração de diuron é de 350 g L⁻¹.

A cultivar IAC Imperador é classificada no grupo comercial carioca, com ciclo médio de 75 dias e hábito de crescimento determinado tipo II (IAC, 2020). A cultivar BRSMG Talismã é classificada, também, no grupo comercial carioca, com ciclo médio de 85 dias e hábito de crescimento indeterminado tipo III (DE FARIA, 2004).

A aplicação dos tratamentos foi efetuada em pré-emergência no mesmo dia da semeadura da cultura. Na aplicação foi utilizado o pulverizador costal pressurizado com CO₂, equipado com barra de três ponteiros tipo leque XR 110.02. O volume de calda utilizada foi equivalente a 200 L ha⁻¹, com velocidade de aplicação de 3,6 km h⁻¹.

3.3 Curva de dose-resposta aos herbicidas Sulfentrazone e Sulfentrazone+Diuron, em dois tipos de solo

Para curva de dose-resposta foram conduzidos dois experimentos, um para o solo argiloso coletado em Pato Branco e outro para o solo arenoso coletado em Paranaíba. Nos dois experimentos foi utilizado o delineamento experimental em inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições e em arranjo fatorial 2 x 2 x 6.

O primeiro fator correspondeu as cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, com menor e maior tolerância ao herbicida sulfentrazone, respectivamente, de acordo com determinação efetuada por Brusamarello (2019). O segundo fator foi correspondente ao herbicida sulfentrazone e à associação sulfentrazone + diuron. O terceiro fator foi constituído por seis doses de sulfentrazone isolado (0, 60.5, 122, 183.5, 245 e 500 g ha⁻¹) e associação de sulfentrazone + diuron (0; 60.5+14.4, 183.5+29, 122 +43.5, 245+58 e 500+87.5 g ha⁻¹) definidas com base em dados do experimento descrito no item 3.2 e de resultados obtidos por Brusamarello (2019).

A aplicação dos herbicidas foi efetuada em pré-emergência da cultura. Na aplicação foi utilizado o pulverizador costal pressurizado com CO₂, equipado com barra de três ponteiros tipo leque XR 110.02. O volume de calda utilizada foi equivalente a 200 L ha⁻¹, com velocidade de aplicação de 3,6 km h⁻¹.

3.4 Avaliações gerais e análise estatística

As avaliações corresponderam a determinação da tolerância relativa (TR), área foliar (AF) e massa da parte aérea seca (MPAS). A determinação da TR foi efetuada aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) com auxílio da escala de Frans (1986) com modificações. As notas compreenderam entre 0 (morte das plantas) a 100 (plantas sem sintomas de injúrias) conforme a sintomatologia apresentada.

A AF foi mensurada pelo integrador de área foliar modelo LI 3100, e altura de plantas (AP) foi determinada aos 7, 14, 21 e 28 DAA. Aos 28 DAA, foi realizada a coleta das partes aéreas, com corte na região do colo das plantas. As plantas foram levadas para secagem em câmara de circulação forçada de ar a 60°C,

onde permaneceram até atingir massa constante, para determinação da MPAS.

Os dados foram submetidos a análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$), para verificar os efeitos dos tratamentos. Os fatores qualitativos foram submetidos a comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As médias dos fatores quantitativos foram ajustadas por regressão não-linear sigmoidal de três parâmetros (Equação 1). Este modelo de equação permite o cálculo de D_{50} e D_{20} (dose necessária para atingir 50% ou 20% a tolerância e/ou 50% ou 20% da variável resposta).

$$y = a / (1 + \exp(-(x - x_0)/b)) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: **y** representa a resposta da variável dependente, **x** é a dose do herbicida, **a** é assintota máxima da curva, **b** é a declividade da curva, x_0 corresponde a dose necessária para reduzir em 50% a variável dependente.

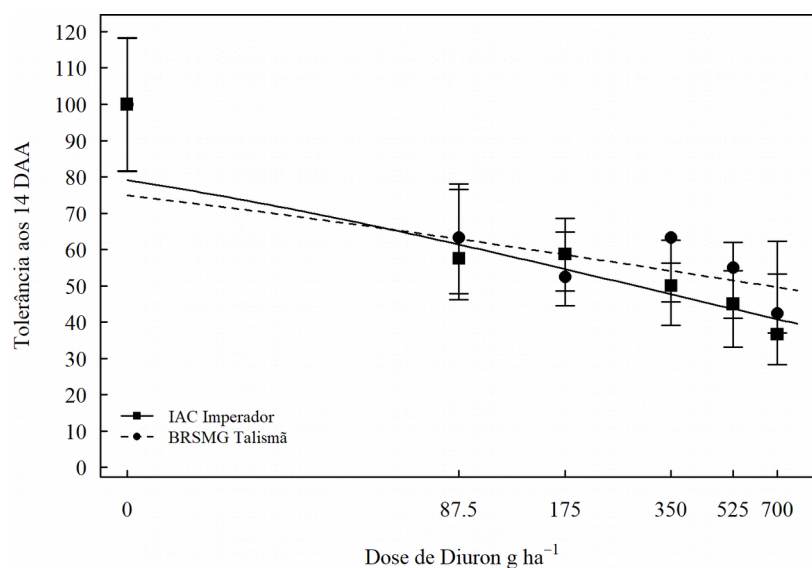
O *software* estatístico utilizado foi o Rstudio (R CORE TEAM, 2019) e pacote *ExpDes.pt* (FERREIRA *et al.*, 2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Experimento preliminar com o herbicida Diuron

A elevação das doses do herbicida diuron condicionou redução significativa da tolerância relativa (TR) aos 14 DAA (Figura 1), tanto para a cultivar IAC Imperador (redução máxima de 57,99%) quanto para BRSMG Talismã (redução máxima de 62,74%). A menor dose de diuron ($87,5 \text{ g ha}^{-1}$) foi suficiente para reduzir a TR até o percentual de 60%. A resposta das duas cultivares ao herbicida diuron se ajustou ao modelo logístico de três parâmetros (Tabela 3).

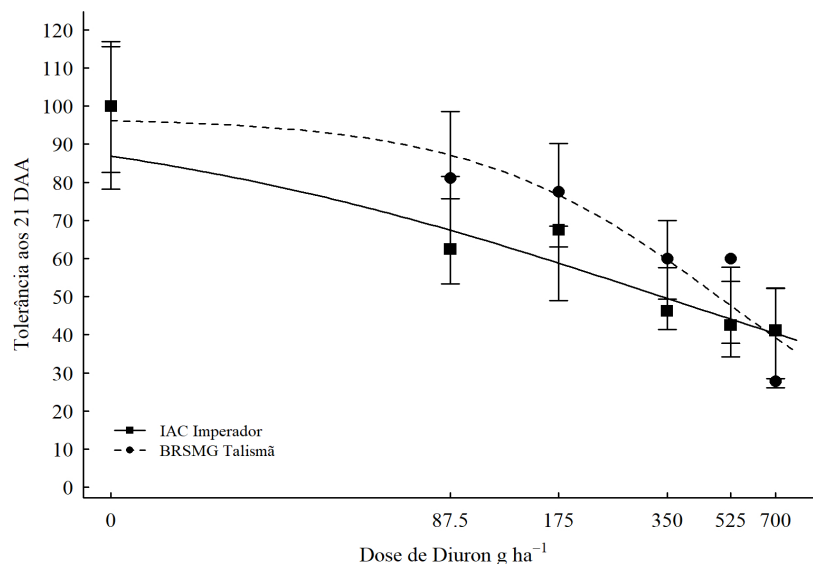
Figura 1 – Tolerância relativa (%) aos 14 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob diferentes doses do herbicida diuron. Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.



Aos 21 DAA (Figura 2) o diuron, na maior dose avaliada (700 g ha^{-1}), reduziu a TR das cultivares de feijão-comumaté 34,4%. Nas doses de $87,5 \text{ g ha}^{-1}$ a tolerância média das cultivares foi reduzida a 71,80% e na dose 175 g ha^{-1} até o valor de 72,50%. Ou seja, as plantas apresentaram valores médios da TR superiores comparados a época anterior, sugerindo aumento da tolerância o longo do tempo de avaliação, o que pode ser explicado pela capacidade de detoxificação da molécula de diuron. A menor TR média foi apresentada pela cultivar IAC Imperador (59,98%), o que indica maior sensibilidade aos efeitos do herbicida comparada a BRSMG

Talismã (67,74%).

Figura 2 – Tolerância relativa (%) aos 21 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã a diferentes doses do herbicida diuron. Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.



Os valores de D_{50} e D_{20} foram inferiores à maior dose avaliada, em ambas as épocas, sugerindo que as cultivares são sensíveis ao herbicida diuron e que existe efeito sobre a variável (Tabela 3). Considerando a TR aos 21 DAA, os valores de D_{50} diferiram entre as cultivares, sendo que a cultivar IAC Imperador apresentou dose inferior para redução de 50% da TR comparada a BRSMG Talismã, indicando maior sensibilidade à molécula.

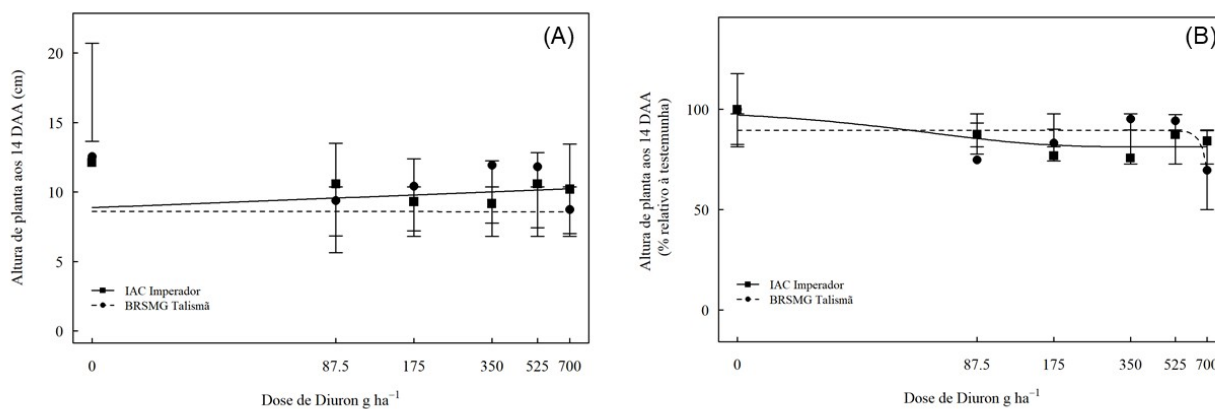
Não foi constatado efeito de dose do herbicida diuron sobre a altura de planta para ambas as cultivares de feijão-comum nas determinações aos 14 (Figura 3) e 21 DAA (Figura 4). Aos 14 DAA, a altura de planta relativizada à testemunha sem aplicação do herbicida foi 81,09% para menor dose (87,5 g ha⁻¹) e 76,90% para maior dose (700 g ha⁻¹) de diuron (Figura 3B).

Tabela 3 – Parâmetros das equações¹ e coeficiente de determinação (R²) para as variáveis tolerância relativa (TR) e altura de planta (AP) aos 14 e 21 DAA, área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) em função da aplicação de doses de diuron em duas cultivares defeijão-comum. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.

Variável	Cultivar	Parâmetros					
		b	d	D ₅₀	D ₂₀	R ²	
TR	14 DAA	IAC Imperador	0,4016 ^{ns}	0,9985*	280,003 (174,617) ^{ns}	8,874 (19,255) ^{ns}	0.56
		BRSMG Talismã	0,2610 ^{ns}	0,9995*	663,722 (76,571) ^{ns}	3,279 (13,569) ^{ns}	0.43
	21 DAA	IAC Imperador	0,5395*	0,9978*	341,083 (150,985)*	26,1230 (31,904) ^{ns}	0.49
		BRSMG Talismã	1.2389*	0,9690*	512,110 (115,393)*	167,271(100,222) ^{ns}	0.30
AP	14 DAA	IAC Imperador	-0,0651 ^{ns}	19,6900 ^{ns}	209,19 (0) ^{ns}	1.1841 x 10 ⁻⁷ (1.0843 x 10 ⁻⁵) ^{ns}	0.16
		BRSMG Talismã	0,0003 ^{ns}	17,1850 ^{ns}	49,719 (1034,6) ^{ns}	-	0.08
	21 DAA	IAC Imperador	0,5782 ^{ns}	20,3950*	1576,7 (2472,9) ^{ns}	143,43 (277,35) ^{ns}	0.19
		BRSMG Talismã	0,0001 ^{ns}	32,8480*	2.183 (85,362) ^{ns}	-	0.27
AP (%) ²	14 DAA	IAC Imperador	0,0171*	1657,9*	393,80 (9.9828)*	313,156 (10,258) ^{ns}	0.16
		BRSMG Talismã	0,0272*	89,511*	893,84 (9.9821)*	944,691 (13,520) ^{ns}	0.08
	21 DAA	IAC Imperador	0,5204 ^{ns}	100,04*	1688,1 (2409,1) ^{ns}	117,66 (183,38) ^{ns}	0.19
		BRSMG Talismã	0,0483 ^{ns}	100,18*	3.9786 x 10 ⁵ (5.9144 x 10 ⁶) ^{ns}	1.4430 x 10 ⁻⁷ (7.4573 x 10 ⁻⁶) ^{ns}	0.27
AF	IAC Imperador	0,7862 ^{ns}	1071,41*	3.15699 x 10 ² (2.38305 x 10 ²) ^{ns}	5.4144 x 10 ¹ (9.8554 x 10 ¹) ^{ns}	0.22	
	BRSMG Talismã	0,2886 ^{ns}	124,918*	2.42449 x 10 ³ (9.22078 x 10 ³) ^{ns}	1.9895 x 10 ¹ (1.23201 x 10 ²) ^{ns}	0.13	
AF (%)	IAC Imperador	0,7861 ^{ns}	98,728*	315,64 (219,12) ^{ns}	54,117 (90,598) ^{ns}	0.22	
	BRSMG Talismã	0,2862 ^{ns}	99,382*	246,05 (1016,3) ^{ns}	19,386 (129,833) ^{ns}	0.13	
MSPA	IAC Imperador	0,9271*	4,4846*	273,01 (9.9733)*	61,203 (44,136) ^{ns}	0.30	
	BRSMG Talismã	0,0177 ^{ns}	5,4663*	8.0304 x 10 ⁵ (10,00)*	1.1417 x 10 ⁻²⁷ (1.7306 x 10 ⁻²⁵) ^{ns}	0.31	
MSPA (%)	IAC Imperador	0,9278*	0,9972*	272,68 (9.9478)*	61,200 (39,194) ^{ns}	0.30	
	BRSMG Talismã	0,0172 ^{ns}	0,9906*	9.4076 x 10 ⁵ (10,00)*	1.1928 x 10 ⁻²⁸ (1.6295 x 10 ⁻²⁶) ^{ns}	0.31	

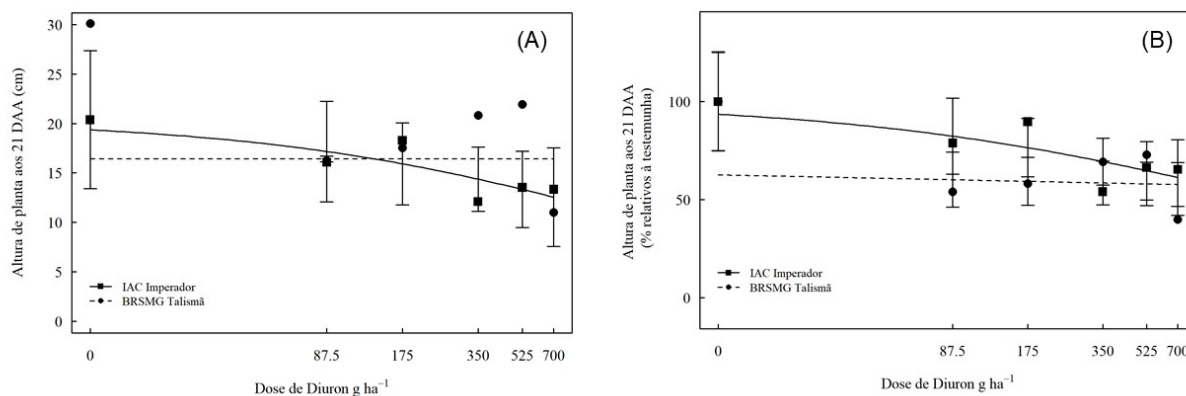
¹Equação sigmoidal de três parâmetros: “b” corresponde a assintota máxima da curva, “d” a declividade da curva, “D₅₀” dose necessária para reduzir em 50% e “D₂₀” dose necessária para reduzir em 20% a variável dependente. ²Valores percentuais relativos à testemunha. * Significativo a 5% de probabilidade. ^{ns} Não significativo.

Figura 3 – Altura de planta (cm) aos 14 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob diferentes doses do herbicida diuron. (A) valores apresentados em centímetros (cm) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.



Aos 21 DAA entre as doses 87,5 g ha⁻¹ e 700 g ha⁻¹ houve redução da altura relativa da cultivar IAC Imperador com percentuais de 78,82% e 65,42%, respectivamente, em relação à testemunha sem aplicação de diuron (FIGURA 4B). Porém, não foi constatado efeito de diuron sobre a cultivar BRSMG Talismã. Os valores D₅₀ e D₂₀ são semelhantes entre as cultivares, em ambos os períodos de avaliação (Tabela 3). Portanto, considerando o presente ensaio, esta variável não pode ser considerada significativa para seleção da dose do herbicida para a cultura do feijão-comum.

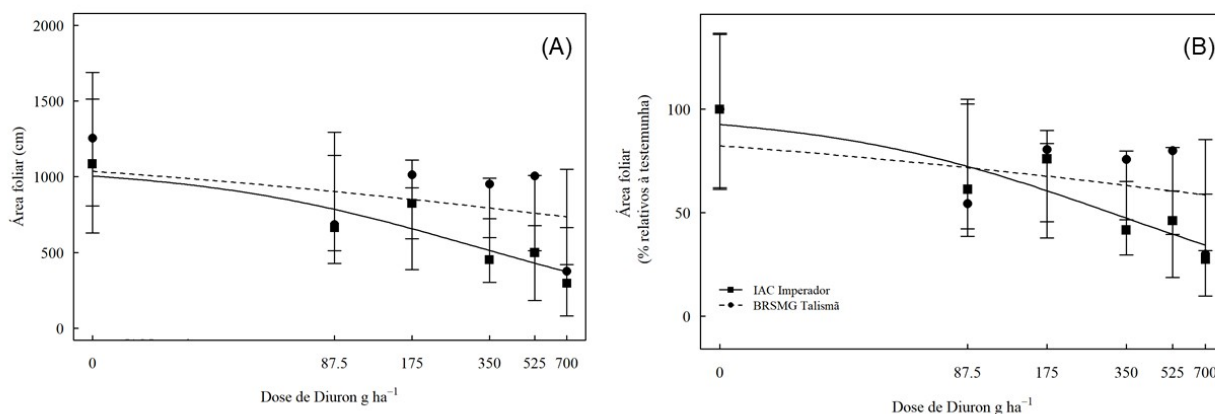
Figura 4 – Altura de planta aos 21 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob diferentes doses do herbicida diuron. (A) valores apresentados em centímetros (cm) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.



O aumento das doses de diuron resultou em efeito sobre a área foliar mais intenso sobre a cultivar Imperador, do que sobre a cultivar BRSMG Talismã. O diuron provocou decréscimos de área foliar superiores nas doses 525 e 700 g ha⁻¹. Para as doses houve redução a 63,03% e 28,72%, respectivamente, da área foliar média das cultivares de feijão-comum, indicando toxicidade pelo herbicida (Figura 5B).

Os valores de D₅₀ e D₂₀ foram inferiores às doses máximas avaliadas, o que demonstra efeito sobre a área foliar e sensibilidade das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã (Tabela 3).

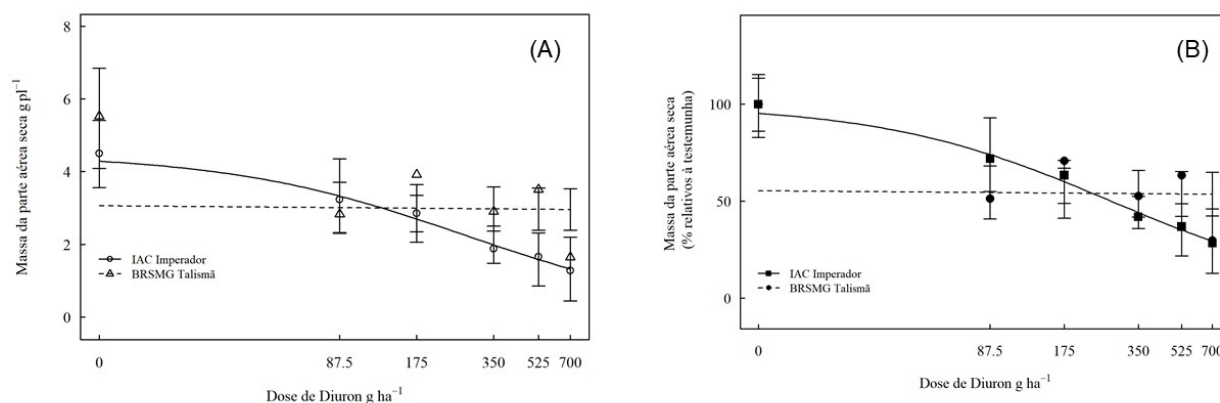
Figura 5 – Área foliar de plantas de feijão-comum aos 28 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob diferentes doses do herbicida diuron. (A) valores apresentados em centímetros (cm²) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.



A massa da parte aérea seca (MPAS) decresceu conforme o incremento das doses de diuron apenas para a cultivar IAC Imperador, não resultando em efeito sobre a cultivar BRSMG Talismã (Figura 6A). Para IAC Imperador, na dose de 87,5 g ha⁻¹ os valores médios foram de 3,03 g pl⁻¹, com redução para 71,83% em relação à testemunha (5,00 g pl⁻¹). As doses superiores a 525 g ha⁻¹, foram suficientes para redução para 36,83% da MPAS das plantas dessa cultivar (Figura 6B).

Para a cultivar BRSMG Talismã não foi constatado efeito das doses do herbicida diuron. Os valores calculados de D₅₀ e D₂₀, foram semelhantes aos observados nas demais variáveis. Para a cultivar IAC Imperador, o valor do parâmetro D₅₀ foi menor ao calculado para BRSMG Talismã, ou seja, a redução de 50% MSPA foi obtida com uma dose de diuron menor devido à sensibilidade superior ao herbicida.

Figura 6 – Massa da parte aérea seca de plantas de feijão-comum aos 28 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob diferentes doses do herbicida diuron. (A) valores apresentados em centímetros (cm) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.



Não foram encontrados na literatura estudos sobre a seletividade de diuron ao feijão-comum. Em estudo conduzido por FILHO *et al.* (2013), foi constatada seletividade de diuron para o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.), até a dose de 2000 g ha⁻¹, a partir da qual houve toxicidade significativa, tanto na avaliação de tolerância relativa, quanto de altura de planta em pré-emergência da cultura. A associação de diuron+hexazone (237,6+842,4 g ha⁻¹) não conferiu seletividade em pré-emergência para a cultura do feijão-comum (FERNANDES *et al.*, 2011).

Com base nos resultados obtidos, a dose de 87,5 g ha⁻¹ do herbicida diuron foi selecionada para o ensaio 3.3, por apresentar menor impacto sobre as variáveis avaliadas, portanto, sendo mais seletiva.

4.2 Curva de dose-resposta aos herbicidas Sulfentrazone e Sulfentrazone+Diuron, em dois tipos de solo

4.2.1 Solo argiloso

O efeito das doses de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em pré-emergência sobre as variáveis resposta seguiram o modelo logístico de três parâmetros. A toxicidade dos herbicidas apresentou grande variabilidade em função

do incremento das doses e do período avaliado.

Entre as injúrias visuais foram observados 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, para as doses superiores da curva de dose-resposta.

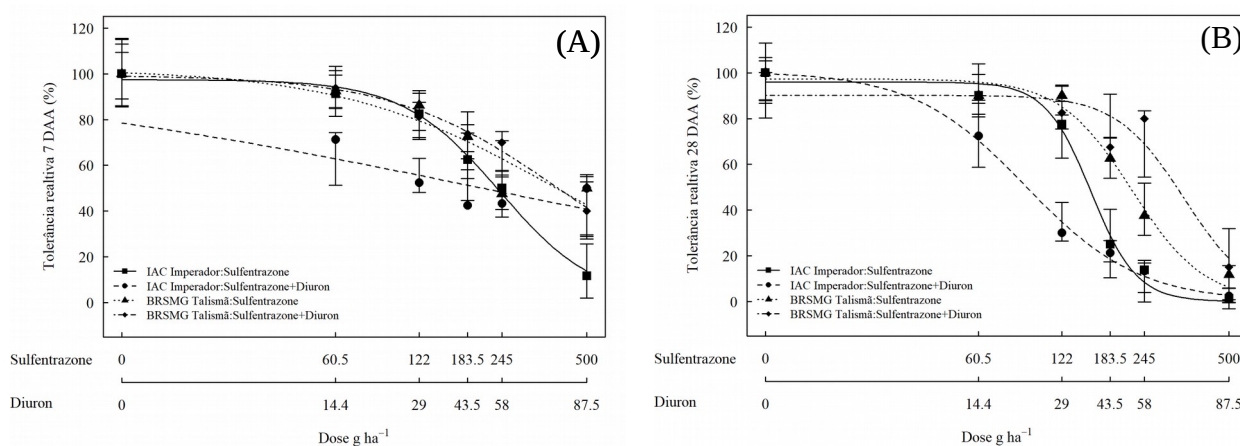
Na modalidade de pré-emergência as doses foram suficientes para reduzir aproximadamente 20% das variáveis respostas, em relação à testemunha.

Aos 7 DAA (Figura 7A), o efeito da associação entre os herbicidas variou entre as doses avaliadas. As doses 122 + 29 g ha⁻¹ de sulfentrazone + diuron, foram suficientes para reduzir 47,5% a TR da cultivar IAC Imperador. No mesmo período, para a cultivar BRSMG Talismã, houve redução de 18,75% nas mesmas doses dos herbicidas.

Na dose de 183,5 g ha⁻¹ do herbicida sulfentrazone, houve redução de 37,5% da TR da cultivar IAC Imperador, enquanto para a cultivar BRSMG Talismã na foi observado redução de 27,5% da TR. O que demonstra a redução da seletividade com o incremento da dose, mesmo para a cultivar mais tolerante.

Os valores de D₅₀ (Tabela 4) foram estimados para a IAC Imperador em 239,7 g ha⁻¹ (sulfentrazone) e 203,6 g ha⁻¹ (sulfentrazone+diuron), e para a cultivar BRSMG Talismã em 371,7 g ha⁻¹ (sulfentrazone) e 395,5 g ha⁻¹ (sulfentrazone+diuron), o que indica que, nesta avaliação, a adição do diuron reduziu a seletividade das plantas da cultivar IAC Imperador e elevou a seletividade de BRSMG Talismã, apesar de que as magnitudes de redução e incremento do D₅₀ podem ser consideradas pequenas.

Figura 7 – Tolerância relativa (%) aos 7 (A) e 28 dias após aplicação (DAA) (B) referente as cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em pré-emergência em diferentes doses. Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.



Houve evolução das injúrias visuais aos 28 DAA, especialmente com uso das doses mais elevadas dos herbicidas (Figura 7B). A aplicação de sulfentrazone+diuron nas doses 122 e 29 g ha⁻¹ reduziu em 70% a TR da cultivar IAC Imperador, porém com redução de no máximo 20% para o tratamento com sulfentrazone isolado. A cultivar BRSMG Talismã apresentou redução de 32,5% nas doses de 183,5 e 43,5 g ha⁻¹ de sulfentrazone e diuron, respectivamente, muito próximo da injúria com a aplicação de sulfentrazone isolado. Nessas doses, a redução da tolerância para a cultivar IAC Imperador foi de aproximadamente 80%. A dose de 245 g ha⁻¹ de sulfentrazone reduziu em 62,5% a TR da cultivar BRSMG Talismã, porém a combinação com diuron na dose correspondente de sulfentrazone provocou redução da tolerância inferior a 20%, o que indica efeito protetor de diuron para esta cultivar de feijão.

Os valores estimados de D₅₀ (Tabela 4) variaram em função da cultivar e tratamento herbicida. Para a cultivar IAC Imperador em 156 g ha⁻¹ (sulfentrazone) e 90,3 g ha⁻¹ (sulfentrazone+diuron), e para BRSMG Talismã em 220,5 g ha⁻¹ (sulfentrazone) e 342,2 g ha⁻¹ (sulfentrazone+diuron). Os valores de D₅₀ confirmam a maior tolerância da cultivar BRSMG Talismã e o efeito protetor da injúria de sulfentrazone com o uso de diuron, apenas nesta cultivar.

Tabela 4 – Parâmetros das equações¹ e coeficiente de determinação (R²) para as variáveis tolerância relativa (TR) e altura de planta (AP) aos 7 e 21 DAA, área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) em função da aplicação de doses dos herbicidas sulfentrazone e sulfentrazone+diuron feijão-comum. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.

Variável	Tratamento	Parâmetros					
		b	d	D ₅₀	D ₂₀	R ²	
TR	7DAA	IAC Imperador: Sulfentrazone	2.455 (0.625)*	97.466 (6.017)*	239.721 (24.810)*	136.305 (25.970)	0.24
		IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	0.422 (0.196)*	100.414 (7.325)*	203.6915 (98.232)*	7.668 (12.010)	0.43
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	1.118 (0.295)*	102.257 (6.683)*	371.741 (83.254)*	107.644 (37.642)	0.38
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	1.435 (0.437)*	99.468 (6.789)*	395.501 (71.352)*	150.620 (49.836)	0.65
	28 DAA	IAC Imperador: Sulfentrazone	5.205 (1.230)*	95.969 (4.648)*	155.995 (8.076)*	119.522 (10.860)	0.30
		IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	2.103 (0.388)*	100.607 (6.266)*	90.262 (10.123)*	46.698 (9.167)	0.53
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	3.278 (0.917)*	97.331 (4.720)*	220.506 (14.835)*	144.465 (18.909)	0.80
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	3.513 (1.149)*	90.205 (4.973)*	342.169 (32.810)*	230.625 (44.068)	0.66
AP	7DAA	IAC Imperador: Sulfentrazone	1.909 (0.490)*	7.146 (0.458)*	316.661 (47.968)*	153.221 (34.234)	0.12
		IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	0.951 (0.557) ^{ns}	5.286 (0.519)*	933.431 (682.726) ^{ns}	217.407 (144.313)	0.03
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	0.745 (0.436) ^{ns}	6.938 (0.592)*	1032.773 (786.544) ^{ns}	160.852 (116.726)	0.16
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	1.016 (0.576) ^{ns}	6.382 (0.502)*	1138.178 (822.464) ^{ns}	291.075 (157.093)	0.24
	21 DAA	IAC Imperador: Sulfentrazone	2.445 (0.641)*	12.972 (0.838)*	234.538 (26.083)*	133.050 (25.233)	0.17
		IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	0.930 (0.305)*	12.111 (1.037)*	276.632 (80.905)*	62.352 (34.591)	0.26
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	1.392 (0.669)*	11.714 (0.923)*	604.837 (189.622)*	223.462 (93.069)	0.47
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	1.335 (0.580)*	11.530 (0.874)*	654.439 (225.790)*	231.794 (93.489)	0.34
AP(%) ²	7DAA	IAC Imperador: Sulfentrazone	1.909 (0.541)*	103.575 (7.342)*	316.665 (52.973)*	153.221 (37.808)	0.12
		IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	0.900 (0.356)*	104.857 (8.364)*	732.662 (379.029) ^{ns}	157.253 (81.924)	0.03
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	0.750 (0.487) ^{ns}	99.661 (9.498)*	1024.652 (855.967) ^{ns}	161.442 (130.094)	0.16
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	1.016 (0.569) ^{ns}	103.609 (8.042)*	1139.816 (815.029) ^{ns}	291.325 (155.088)	0.24
	21 DAA	IAC Imperador: Sulfentrazone	2.445 (0.679)*	102.720 (7.030)*	234.523 (27.624)*	133.033 (26.725)	0.17
		IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	0.930 (0.308)*	100.690 (8.700)*	276.567 (81.595)*	62.324 (34.883)	0.26
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	1.391 (0.661)*	99.447 (7.747)*	604.821 (187.343)*	223.386 (91.934)	0.47
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	1.638 (0.736)*	99.053 (6.572)*	685.586 (209.125)*	294.190 (96.515)	0.34

AF	IAC Imperador: Sulfentrazone	5.750 (2.628)*	466.684 (41.495)*	172.474 (15.552)*	135.527 (21.128)	0.15
	IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	2.634 (1.393) ^{ns}	373.575 (50.295)*	168.642 (33.906)*	99.635 (37.396)	0.16
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone	3.939 (2.412) ^{ns}	454.942 (36.588)*	269.758 (59.398)*	189.740 (27.902)	0.50
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	3.500 (2.252) ^{ns}	421.440 (40.232)*	407.958 (77.085)*	274.552 (101.370)	0.17
AF (%)	IAC Imperador: Sulfentrazone	5.751 (3.166) ^{ns}	105.303 (11.278)*	172.478 (18.732)*	135.534 (25.449)	0.15
	IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	2.636 (1.383) ^{ns}	102.437 (13.668)*	168.654 (33.592)*	99.683 (37.072)	0.16
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone	3.393 (2.602) ^{ns}	114.584 (9.944)*	269.730 (64.031)*	189.721 (30.104)	0.50
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	3.496 (2.057) ^{ns}	124.921 (10.930)*	407.817 (70.644)*	274.338 (92.721)	0.17
MPAS	IAC Imperador: Sulfentrazone	4.282 (2.150)*	1.645 (0.171)*	196.031 (24.101)*	141.819 (30.457)	0.13
	IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	2.352 (1.284) ^{ns}	1.297 (6.610)*	213.856 (56.319)*	118.624 (50.574)	0.10
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone	1.790 (0.969) ^{ns}	2.035 (0.238)*	297.045 (66.813)*	136.975 (69.073)	0.41
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	3.100 (1.940) ^{ns}	1.720 (0.161)*	439.033 (84.374)*	280.755 (102.938)	0.14
MPAS (%)	IAC Imperador: Sulfentrazone	4.283 (2.148)*	106.135 (11.069)*	196.052 (24.065)*	141.851 (30.407)	0.13
	IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	2.352 (1.038)*	103.450 (12.649)*	213.850 (45.518)*	118.621 (40.877)	0.10
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone	1.791 (1.374) ^{ns}	92.495 (15.351)*	297.009 (94.653)*	136.994 (97.893)	0.41
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	3.654 (2.674) ^{ns}	121.606 (10.001)*	454.354 (71.309)*	310.913 (111.478)	0.14

¹Equação sigmoidal de três parâmetros: “b” corresponde a assintota máxima da curva, “d” a declividade da curva, “D₅₀” dose necessária para reduzir em 50% e “D₂₀” dose necessária para reduzir em 20% a variável dependente. ²Valores percentuais relativos à testemunha.

* Significativo a 5% de probabilidade. Valores entre parênteses representam o \pm erro padrão da média.

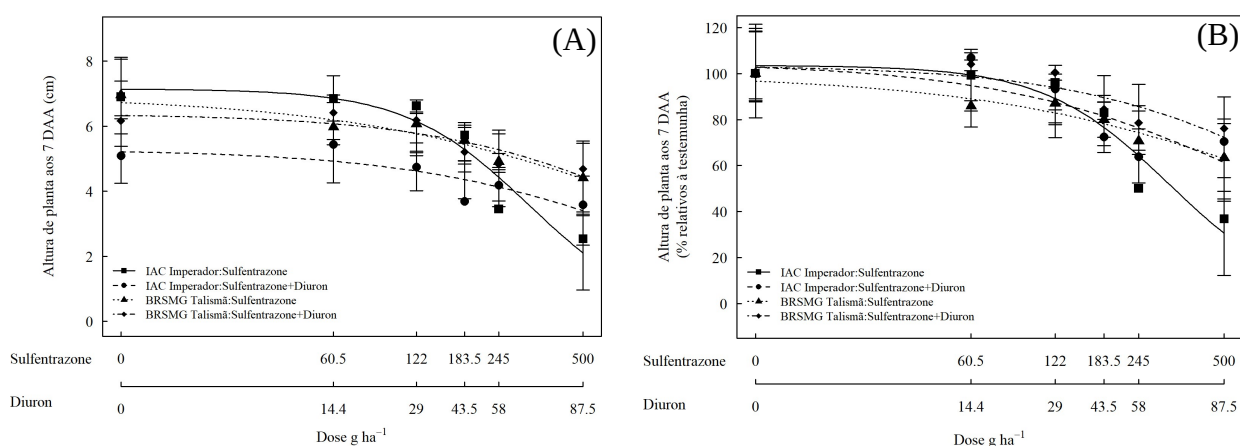
^{ns} Não significativo.

Aos 7 DAA, o tratamento com sulfentrazone (245 g ha^{-1}) provocou redução de 50% (3,45 cm) da AP da cultivar IAC Imperador, relativa à testemunha, (Figura 8), enquanto o mesmo tratamento reduziu apenas 18% da cultivar BRSMG Talismã. Destaca-se, porém, que somente nas doses mais elevadas de sulfentrazone o efeito tóxico foi mais pronunciado em IAC Imperador do que em BRSMG Talismã.

Para a variável AP, o comportamento dos tratamentos herbicidas sulfentrazone+diuron, foi divergente ao observado na TR, pois o efeito protetor de diuron ocorreu pra a cultivar IAC Imperador, e não para BRSMG Talismã. A cultivar IAC Imperador ($183,5+43,5 \text{ g ha}^{-1}$) reduziu 27,6% da AP (3,68 cm) comparada à testemunha, em comparação com 14% no tratamento com sulfentrazone isolado (Figura 8B). Para a cultivar BRSMG Talismã ($183,5+43,5 \text{ g ha}^{-1}$) houve redução de 21,4% (4,84 cm), semelhante ao obtido nos tratamentos com sulfentrazone isolado. Porém, nas duas doses mais elevadas, observou-se efeito protetor do diuron sobre a ação de sulfentrazone, apenas para a cultivar IAC Imperador (Figura 8B).

Os valores de D_{50} (Tabela 4) para AP foram superiores aos estimados para TR. Para a cultivar IAC Imperador foram de $316,6 \text{ g ha}^{-1}$ (sulfentrazone) e $933,4 \text{ g ha}^{-1}$ (sulfentrazone+diuron), e 1032 g ha^{-1} (sulfentrazone) e 1138 g ha^{-1} (sulfentrazone+diuron) para BRSMG Talismã. Esses resultados confirmam o efeito protetor de diuron contra a ação de sulfentrazone para a variável AP da cultivar IAC Imperador.

Figura 8 – Altura de planta (cm) aos 7 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. (A) valores apresentados em centímetros (cm) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.

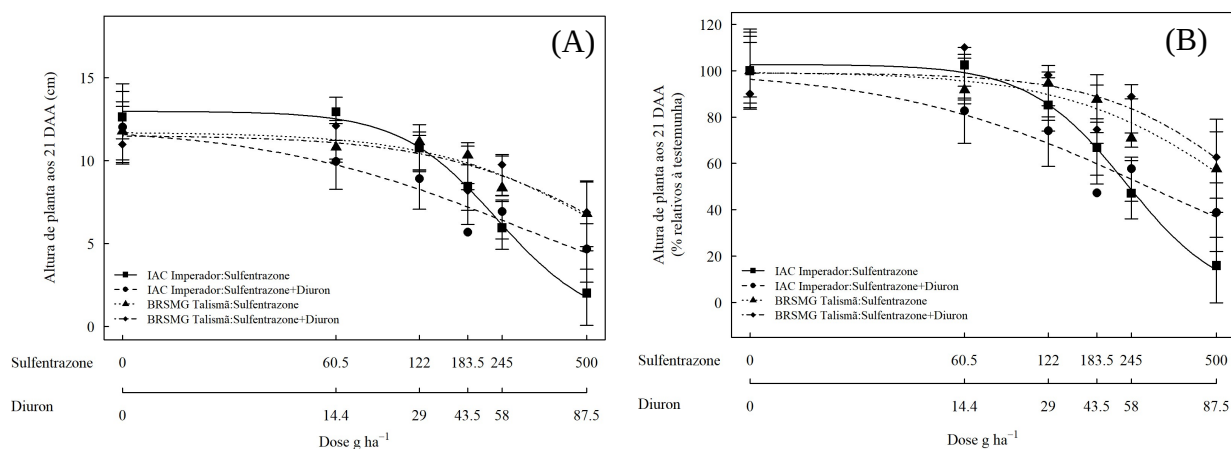


Aos 21 DAA (Figura 9), a cultivar IAC Imperador obteve redução da AP em doses inferiores ao observado aos 7 DAA, sugerindo sensibilidade superior ao sulfentrazone e diuron. Para os tratamentos com sulfentrazone na dose 183,5 g ha⁻¹ houve redução de 33,2% (8,43 cm) da variável AP, enquanto que esse mesmo tratamento reduziu apenas 10% da AP da cultivar BRSMG Talismã. O efeito protetor do diuron sobre a ação de sulfentrazone, apenas para a cultivar IAC Imperador, também foi observado nesta avaliação de AP, porém foi menos pronunciado (Figura 9B).

As doses que condicionaram redução da AP, na associação de sulfentrazone e diuron, corresponderam as selecionadas na TR aos 21 DAA. As cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, reduziram em 26% (8,9 cm) e 25,4% (8,19 cm) da variável, respectivamente.

Os valores de D₅₀ (Tabela 4) para AP foram inferiores aos estimados aos 7DAA. Para a cultivar IAC Imperador em 234,5 g ha⁻¹ (sulfentrazone) e 276,6 g ha⁻¹ (sulfentrazone+diuron), e 604,8 g ha⁻¹ (sulfentrazone) e 654,4 g ha⁻¹ (sulfentrazone+diuron) para BRSMG Talismã. Isso indica aumento da sensibilidade das cultivares aos tratamentos com sulfentrazone e sulfentrazone+diuron com o decorrer das determinações ao longo do ciclo da cultura.

Figura 9 – Altura de planta (cm) aos 21 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. (A) valores apresentados em centímetros (cm) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.

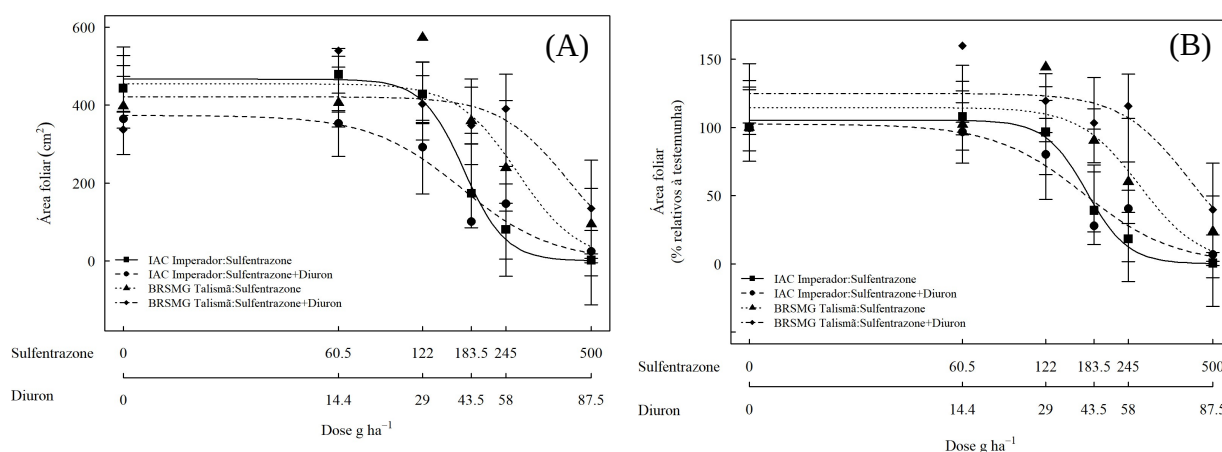


Os tratamentos com sulfentrazone e sulfentrazone+diuron resultaram em diferenças bastante expressivas entre as cultivares IAC Imperador e BRSMG

Talismã. A dose de 183,5 g ha⁻¹ sulfentrazone reduziu 60% (173 cm²) da AF (Figura 10) da cultivar IAC Imperador, porém a mesma dose do herbicida resultou em decréscimo de apenas 10% da AF da cultivar BRSMG Talismã. Os tratamentos com sulfentrazone+diuron diferiram expressivamente entre as cultivares. Nesta mesma variável, as doses de 183,5+43,5 g ha⁻¹ reduziram em 72,2% (101 cm²) a AF de IAC Imperador e praticamente não houve redução da AF da cultivar BRSMG Talismã. Na penúltima dose de sulfentrazone, foi observado efeito protetor do diuron, apenas para a cultivar BRSMG Talismã.

Os valores de D₅₀ foram inferiores à maior dose testada, correspondendo a 172,5 g ha⁻¹ (sulfentrazone) e 168,7 g ha⁻¹ (sulfentrazone+diuron) para a cultivar IAC Imperador; 269,8 g ha⁻¹ (sulfentrazone) e 408 g ha⁻¹ (sulfentrazone+diuron) para a cultivar BRSMG Talismã (Tabela 4). Os valores de D₅₀ confirmam o efeito protetor do herbicida diuron para a variável AF, apenas para a cultivar BRSMG Talismã, efeito que já fora constatado para a variável tolerância relativa aos 28 DAA (TR28) (Tabela 4).

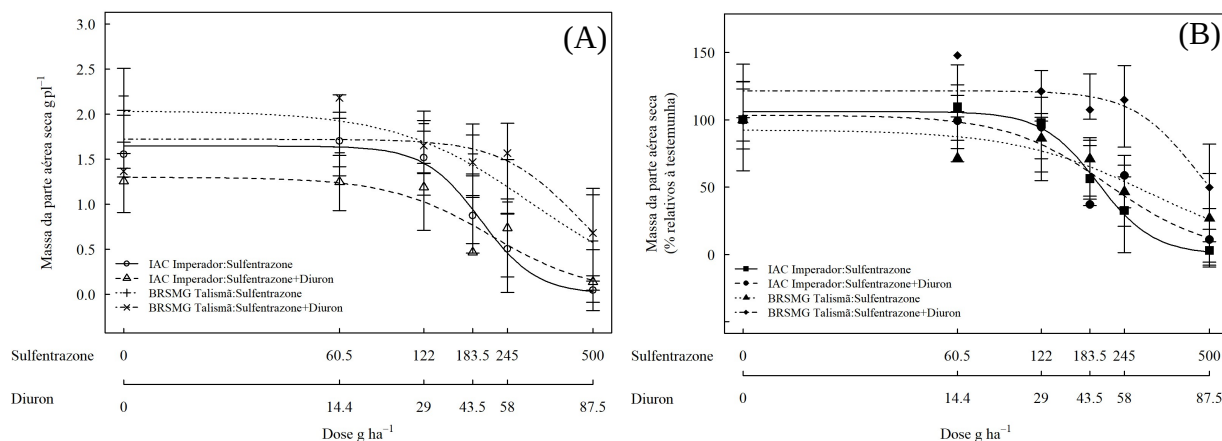
Figura 10 – Área foliar de plantas de feijão-comum aos 28 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. (A) valores apresentados em cm² e (B) valores percentuais (%) relativos à testemunha. Barras correspondem ao erro padrão média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.



Os resultados de MSPA das plantas de feijão, na avaliação efetuada aos 28 DAA confirmam a maior seletividade de sulfentrazone e sulfentrazone + diuron para a cultivar BRSMG Talismã, em comparação com IAC Imperador (Figura 11B). Além disso, especialmente nas doses mais elevadas, foi observado efeito protetor de diuron para a cultivar BRSMG Talismã (Figura 11B).

A seletividade variou entre as cultivares, com valores de D_{50} inferiores a máxima dose avaliada. As doses corresponderam a 196 g ha^{-1} (sulfentrazone) e 214 g ha^{-1} (sulfentrazone+diuron) para cultivar IAC Imperador; 297 g ha^{-1} (sulfentrazone) e 454 g ha^{-1} (sulfentrazone+diuron) respectivos a cultivar BRSMG Talismã. Portanto, os valores de D_{50} respaldam a maior tolerância da cultivar BRSMG Talismã e o efeito protetor de diuron para esta cultivar.

Figura 11 – Massa da parte aérea seca de plantas de feijão-comum aos 28 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, combinadas com sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. (A) valores apresentados em g pl^{-1} e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.



Na literatura, trabalhos destacam o potencial de uso em pré-emergência e seletividade de sulfentrazone ao feijão-comum em doses entre 400 e 210 g ha^{-1} (BRUSAMARELLO *et al.*, 2021; VIECELLI *et al.*, 2021; BRUSAMARELLO *et al.*, 2019; HEKMAT *et al.*, 2007; TAZIAR *et al.*, 2016). Esses resultados corroboram em parte com o observado no presente estudo efetuado em solo argiloso, pois a seletividade dos herbicidas foi dependente da dose, da cultivar de feijão e da variável resposta. No presente estudo doses iguais ou acima de $183,5 \text{ g ha}^{-1}$ comprometeram, principalmente, o acúmulo de massa seca e área foliar das plantas de feijão-comum, especialmente da cultivar a IAC Imperador, mais sensível aos herbicidas.

De maneira geral, os tratamentos com a associação de sulfentrazone+diuron, apresentaram maior toxicidade ao feijoeiro com decréscimo em doses inferiores ao obtido no tratamento com herbicida isolado. Porém, esse efeito foi dependente da dose dos herbicidas e da variável utilizada. Esses resultados

podem ser considerados inéditos, pois estudos sobre a seletividade de sulfentrazone+diuron para o feijão não foram detectados na revisão de literatura efetuada. Resultados semelhantes foram observados com uso da mistura de hexazinone+diuron em pré-emergência a cultivar Jalo Precoce, de feijão-comum (FERNANDES *et al.*, 2011).

Além disso, o herbicida diuron atuou como protetor dos efeitos tóxicos causados por sulfentrazone, fato verificado na maioria das variáveis e que foi mais acentuado para a cultivar BRSMG Talismã, a mais tolerante aos herbicidas. O efeito protetor de diuron sobre a ação tóxica de sulfentrazone merece ser melhor investigado, considerando que doses mais elevadas de sulfentrazone tendem a gerar efeitos tóxicos mais severos para as plantas de feijão. O funcionamento das substâncias protetoras é explicado por meio de sua interferência sobre o processo de metabolização dos herbicidas (HATZIOS; BURGOS, 2004; DUHOUX *et al.*, 2017), ou mesmo pela interferência sobre a absorção e translocação de herbicidas (GALON *et al.*, 2011).

Na literatura, são referidos como protetoras tanto substâncias que isoladamente não interferem sobre o desenvolvimento das plantas, quanto substâncias que podem interferir sobre o seu desenvolvimento, nas quais se enquadram alguns herbicidas. O herbicida bentazon atua como um protetor da ação tóxica do herbicida imazamox para plantas de feijão, bem caracterizada na literatura científica (COBUCCI *et al.*, 1999). Essa interação negativa entre os dois herbicidas é a base para o lançamento no Brasil, de uma formulação comercial contendo esses dois herbicidas, denominada Amplo® (MAPA, 2021).

As misturas de diferentes mecanismos de ação podem elevar a eficácia de controle das espécies infestantes sem prejudicar a produção das culturas de lavoura, como observado em diferentes associações nas culturas do milho, feijão-comum, soja, trigo e batata (REZENDE *et al.*, 2020; GALON *et al.*, 2017; DE QUADROS *et al.*, 2020; GUBIANI *et al.*, 2021; SCHMITT *et al.*, 2020; LUZ *et al.*, 2018). As associações de herbicidas podem resultar, adicionalmente, em redução dos custos de produção e da pressão de seleção de biótipos resistentes de plantas daninhas pela rotação de mecanismos de ação.

A compatibilidade, eficiência e interação de misturas de tanque, dá-se

pela resposta antagonista, sinérgica e aditiva entre os ingredientes ativos (GAZZIERO, 2015). Estudos da dinâmica de sulfentrazone demonstraram interferência na sorção e dessorção pela mistura ao glifosato, bem como o maior potencial de lixiviação da molécula (LANGARO, 2018). Pesquisas com a mistura de diuron+hexazinona+sulfometuron-methyl, elevaram a lixiviação da molécula, o que podem corroborar com os resultados obtidos nas doses selecionadas (DOS REIS *et al.*, 2017; MATOS, 2018; INOUE *et al.*, 2015).

A dinâmica do sulfentrazone e diuron dependem das características físico-químicas dos produtos e do solo. No presente ensaio, não é possível afirmar a interferência do pH do solo na biodisponibilidade dos produtos, pelos valores inferiores ao pKa (6,5) do sulfentrazone e caráter não-iônico de diuron.

A sorção dos herbicidas sulfentrazone e 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).

4.2.2 Solo arenoso

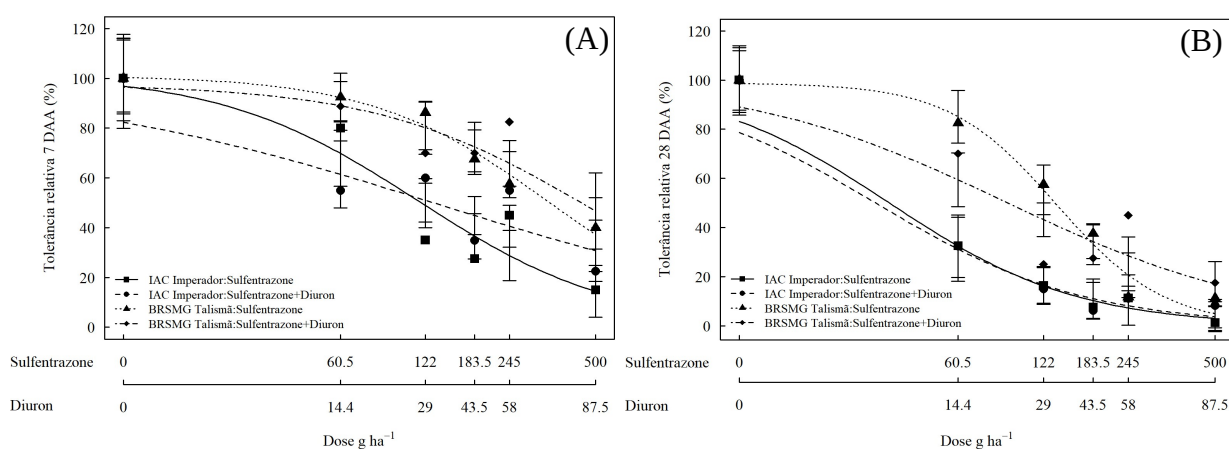
O efeito das doses de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron sobre as variáveis resposta seguiram o modelo logístico de três parâmetros. A toxicidade dos herbicidas foi superior ao observado no solo argiloso, considerando a resposta em função do incremento das doses e com o tempo avaliado.

Considerando a TR (Figura 12), houve decréscimo de 20% (sulfentrazone) e 45% (sulfentrazone+diuron) a partir das menores doses (60,5 e 60,5+14,4g ha⁻¹), para cultivar IAC Imperador. Para BRSMG Talismã houve redução da TR em 10% (sulfentrazone) e 22% considerando-se as mesmas doses.

Os valores estimados de D₅₀ (Tabela 5) foram inferiores às doses máximas avaliadas dos herbicidas. Os tratamentos com sulfentrazone corresponderam valores de D₅₀ de 114,5 g ha⁻¹ para cultivar IAC Imperador e 336,2 g

ha⁻¹ a cultivar BRSMG Talismã. Na associação sulfentrazone+diuron, para ambas as cultivares as D₅₀ foram superiores ao tratamento com sulfentrazone isolado. O valor estimado para IAC Imperador correspondeu a 132,6 g ha⁻¹ e 463,5 g ha⁻¹ para BRSMG Talismã. Isso denota efeito protetor do diuron sobre ação do herbicida sulfentrazone, nesta avaliação aos 7 DAA.

Figura 12 – Tolerância relativa (%) aos 7 (A) e 28 dias após aplicação (DAA) (B) referente as cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.



A redução da TR ocasionada pelos herbicidas foi superior na determinação efetuada aos 28 DAA (Figura 12). Para IAC Imperador a elevação das doses reduziu significativamente a seletividade. Houve decréscimo de 67,5% para ambos os tratamentos herbicidas, isolados e em associação, nas doses 60,5 g ha⁻¹ de sulfentrazone e 14,4 g ha⁻¹ diuron. A cultivar BRSMG Talismã, apresentou decréscimo de 10% com uso de sulfentrazone (60,5 g ha⁻¹) e de 16% com sulfentrazone + diuron (60,5+ 14,4 g ha⁻¹) (Figura 12B). Nas doses mais elevada (500 e 500 + 87,5 g ha⁻¹), a redução da TR foi muito elevada, entre 80 e 100%.

Os valores estimados de D₅₀ para TR aos 28 DAA foram inferiores aos do período inicial de avaliação, confirmando a intensificação da toxicidade às plantas das duas cultivares com a passagem do tempo após a aplicação. Nos tratamentos com sulfentrazone isolado as D₅₀ corresponderam a 34,32 e 135,6 g ha⁻¹, para as cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã respectivamente. Para a associação dos herbicidas as doses estimadas foram 30,63 e 89,24 g ha⁻¹ para as cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã. Isso indica que a adição de diuron acentou bastante a

injúria das plantas da cultivar BRSMG Talismã, o que está em discordância do efeito protetor detectado na avaliação de TR aos 7 DAA.

A variável AP aos 7 DAA (Figura 13) apresentou correspondência com as avaliações de TR, no período equivalente avaliado. Para a cultivar IAC Imperador, as reduções em TR foram mais acentuadas que em BRSMG Talismã, e foram similares entre sulfentrazone e sulfentrazone + diuron (Figura 13B). Para a cultivar BRSMG Talismã, mais tolerante, o diuron apresentou efeito protetor contra a ação do sulfentrazone, na maioria das doses utilizadas (Figura 13B), efeito á verificado na avaliação da TR no período equivalente.

Tabela 5 – Parâmetros das equações¹ e coeficiente de determinação (R²) para as variáveis tolerância relativa (TR) e altura de planta (AP) aos 7 e 21 DAA, área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) em função da aplicação de doses dos herbicidas sulfentrazone e sulfentrazone+diuron feijão-comum. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.

Variável	Tratamento	Parâmetros					
		b	d	D ₅₀	D ₂₀	R ²	
TR	7DAA	IAC Imperador: Sulfentrazone	1.223 (0.302)*	101.727 (8.028)*	114.560 (22.917)*	121.406 (41.463)	0.78
		IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	0.606 (0.236)*	99.525 (8.359)*	132.644 (53.541)*	137.173 (77.446)	0.64
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	1.361 (0;392)*	101.211 (7.414)*	336.204 (67.424)*	36.902 (14.563)	0.68
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	1.138 (0.517)*	97.687 (8.902)*	463.529 (125.269)*	13.495 (15.143)	0.48
	28 DAA	IAC Imperador: Sulfentrazone	1.297 (0.463)*	100.002 (6.645)*	34.326 (13.441)*	73.378 (16.690)	0.73
		IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	1.167 (0.488)*	100.056 (6.641)*	30.633 (15.482) ^{ns}	19.886 (10.231)	0.66
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	2.255 (0.528)*	98.864 (6.577)*	135.667 (15.413)*	11.790 (8.813)	0.79
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	0.923 (0.222)*	100.885 (6.555)*	89.243 (20.052)*	9.343 (9.143)	0.63
AP	7DAA	IAC Imperador: Sulfentrazone	1.260 (0.253)*	8.716 (0.593)*	155.868 (26.297)*	134.693 (49.097)	0.70
		IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	0.764 (0.216)*	8.858 (0.617)*	201.185 (53.058)*	383.623 (136.591)	0.60
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	1.199 (0.358)*	7.365 (0.536)*	427.802 (113.160)*	51.881 (15.801)	0.64
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	1.778 (1.146) ^{ns}	6.666 (0.476)*	836.596 (415.161)*	32.800 (19.620)	0.31
	21 DAA	IAC Imperador: Sulfentrazone	1.214 (0.212)*	15.011 (0.840)*	112.832 (16.276)*	116.221 (22.092)	0.81
		IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	0.539 (0.162)*	15.013 (0.859)*	116.269 (36.228)*	149.567 (66.159)	0.69
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	1.698 (0.329)*	12.898 (0.700)*	262.927 (33.738)*	36.030 (10.324)	0.69
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	0.997 (0.354)*	11.438 (0.798)*	599.962 (200.767)*	8.911 (8.472)	0.58
AP(%) ²	7DAA	IAC Imperador: Sulfentrazone	1.260 (0.266)*	102.545 (7.351)*	155.871 (27.700)*	134.643 (42.823)	0.70
		IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	0.764 (0.236)*	100.311 (7.651)*	201.251 (58.082)*	383.913 (111.138)	0.60
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	1.199 (0.312)*	104.637 (6.649)*	427.720 (98.699)*	51.884 (16.645)	0.64
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	1.780 (1.158) ^{ns}	101.608 (5.907)*	836.153 (338.075)*	32.819 (21.478)	0.31
	21 DAA	IAC Imperador: Sulfentrazone	1.214 (0.238)*	101.233 (6.379)*	112.816 (18.316)*	116.230 (20.220)	0.81
		IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	0.539 (0.184)*	100.090 (6.525)*	116.269 (41.242)*	149.503 (56.617)	0.69
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	1.698 (0.301)*	106.953 (5.317)*	262.938 (30.879)*	36.023 (11.617)	0.69
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	0.997 (0.303)*	101.418 (6.062)*	599.779 (171.749)*	8.910 (9.644)	0.58

AF	IAC Imperador: Sulfentrazone	2.631 (1.214)*	553.012 (44.008)*	50.811 (9.173)*	149.744 (19.111)	0.72
	IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	1.734 (0.837)*	410.226 (44.020)*	47.403 (16.643)*	52.032 (21.590)	0.74
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone	6.291 (2.680)*	386.013 (28.583)*	186.659 (13.157)*	30.006 (11.753)	0.58
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	1.278 (0.353)*	432.818 (41.667)*	153.888 (36.344)*	21.313 (14.707)	0.48
AF (%)	IAC Imperador: Sulfentrazone	2.631 (1.618)*	100.005 (10.620)*	50.808 (12.243)*	149.739 (17.551)	0.72
	IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	1.734 (0.829)*	99.981 (10.623)*	47.406 (16.478)*	52.021 (21.873)	0.74
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone	6.290 (2.461)*	101.442 (6.898)*	186.659 (12.084)*	29.999 (15.680)	0.58
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	1.278 (0.357)*	103.092 (10.055)*	153.874 (36.820)*	21.315 (14.561)	0.48
MPAS	IAC Imperador: Sulfentrazone	1.818 (0.602)*	1.727 (0.162)*	68.677 (14.228)*	168.238 (21.785)	0.77
	IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	1.079 (0.518)*	1.286 (0.162)*	78.380 (32.735)*	66.972 (38.950)	0.66
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone	5.776 (2.657)*	1.360 (0.102)*	213.874 (16.632)*	32.037 (12.949)	0.53
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	1.018 (0.357)*	1.537 (0.157)*	261.149 (83.996)*	21.702 (20.283)	0.36
MPAS (%)	IAC Imperador: Sulfentrazone	1.818 (0.710)*	100.275 (11.140)*	68.678 (16.772)*	168.246 (20.658)	0.77
	IAC Imperador: Sulfentrazone+Diuron	1.079 (0.454)*	100.346 (11.119)*	78.389 (28.707)*	66.864 (40.288)	0.66
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone	5.779 (2.520)*	98.127 (6.981)*	213.857 (15.772)*	32.041 (15.267)	0.53
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone+Diuron	1.017 (0.369)*	101.590 (10.768)*	261.097 (86.994)*	21.709 (17.793)	0.36

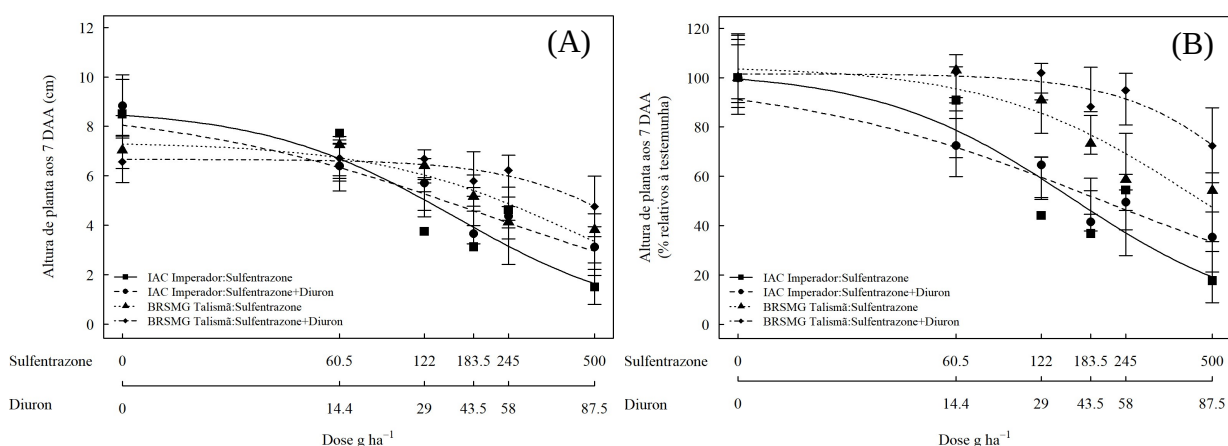
¹Equação sigmoideal de três parâmetros: “b” corresponde a assintota máxima da curva, “d” a declividade da curva, “D₅₀” dose necessária para reduzir em 50% e “D₂₀” dose necessária para reduzir em 20% a variável dependente. ²Valores percentuais relativos à testemunha.

* Significativo a 5% de probabilidade. Valores entre parênteses representam o \pm erro padrão da média.

^{ns} Não significativo.

Os valores de D_{50} para sulfentrazone corresponderam a 155,8 e 427,8 $g\ ha^{-1}$, respectivamente para IAC Imperador e BRSMG Talismã. Para a associação de sulfentrazone+diuron, os valores resultantes foram 201,2 e 836,6 $g\ ha^{-1}$, para as cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, respectivamente.

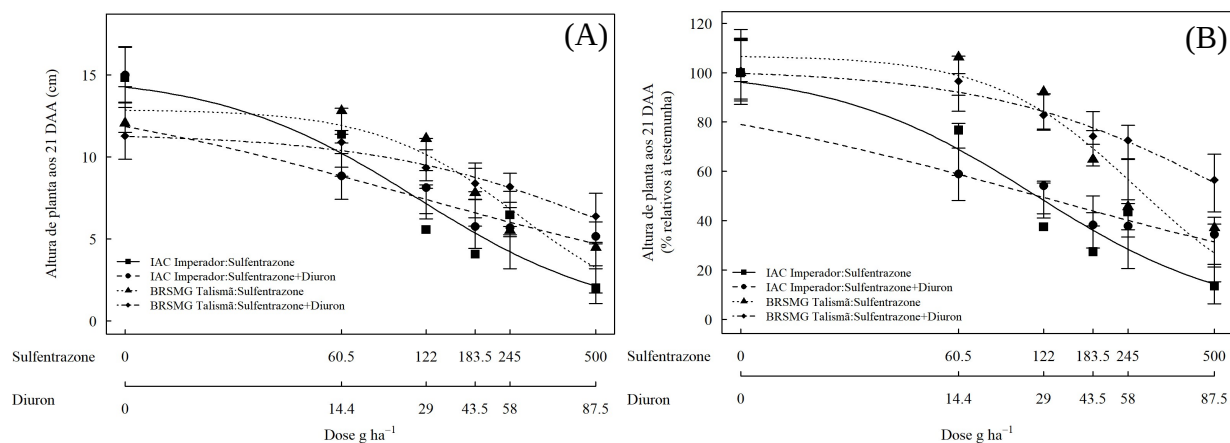
Figura 13 – Altura de planta (cm) aos 7 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. (A) valores apresentados em centímetros (cm) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.



Aos 21 DAA as plantas de feijão-comum da cultivar IAC Imperador apresentaram reduções da AP de 23,3% e 41% nos tratamentos com doses de 60,5 $g\ ha^{-1}$ (sulfentrazone) e 60,5 + 14,4 $g\ ha^{-1}$ (sulfentrazone + diuron). Com essas doses, a altura das plantas da cultivar BRSMG Talismã não foi reduzida.

O valor de D_{50} estimado ao tratamento com sulfentrazone+diuron, para BRSMG Talismã, foi superior a dose máxima testada no equivalente a 600 $g\ ha^{-1}$. Para a mesma cultivar, o valor estimado para sulfentrazone isolado foi de 263 $g\ ha^{-1}$. As D_{50} estimadas para IAC Imperador corresponderam a 112,8 $g\ ha^{-1}$ (sulfentrazone) e 116,3 $g\ ha^{-1}$ (sulfentrazone+diuron). Esses resultados confirmam a maior tolerância da cultivar BRSMG Talismã aos herbicidas, além do efeito protetor proporcionado pelo herbicida diuron (Figura 14B).

Figura 14 – Altura de planta (cm) aos 21 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, sob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. (A) valores apresentados em centímetros (cm) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.



As curvas de resposta a doses (Figuras 15B e 16B) para as variáveis AF e MSPA revelam grande diferença de tolerância entre as cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã. As doses de 60,5 g ha⁻¹ (sulfentrazone) e 14,4 g ha⁻¹ (diuron), isolados ou em associação, foram suficientes para reduzir em média 61% da AF (Figura 15) e 42% da MSPA (Figura 16) da cultivar IAC Imperador. Para essas mesmas doses, para a cultivar BRSMG Talismã, não houve redução da AF e houve redução da MSPA entre 10 e 15%. Nos tratamentos com a mistura dos herbicidas nas doses de 122 g ha⁻¹ (sulfentrazone) e 29 g ha⁻¹ (diuron), as cultivares apresentaram redução média de 60% da AF e 63,5% da MSPA.

Na dose de 122 g ha⁻¹ de sulfentrazone, a associação com diuron acentou a toxicidade às plantas da cultivar BRSMG Talismã (Figuras 15B e 16B). Porém, efeito protetor de diuron para esta variedade ocorreu com a combinação de 245 + 58 g ha⁻¹. Isso indica que a resposta da associação entre herbicidas depende das doses de cada produto componente da associação (ZHANG; HAMILL; WEAVER, 1995).

Figura 15 – Área foliar de plantas de feijão-comum aos 28 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, ob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. (A) valores apresentados em centímetros quadrados (cm²) e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.

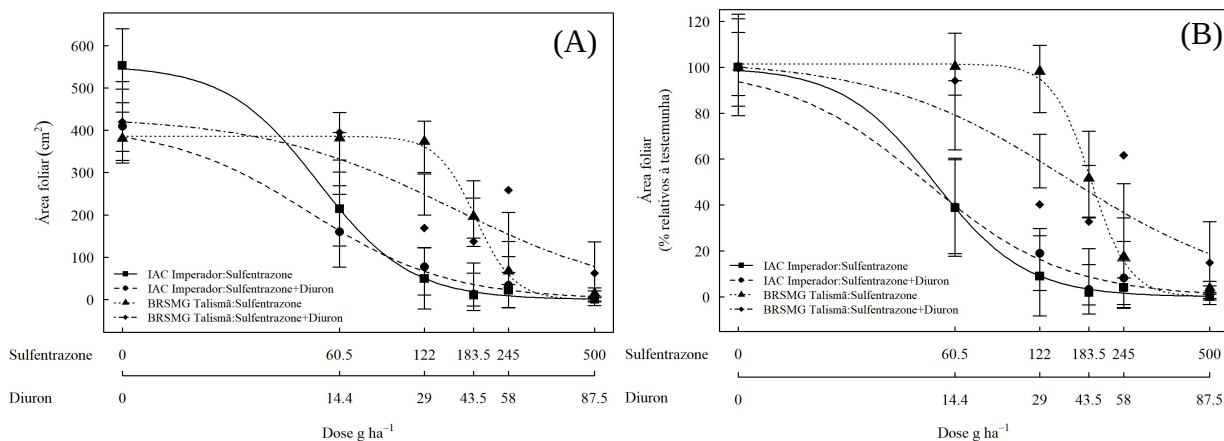
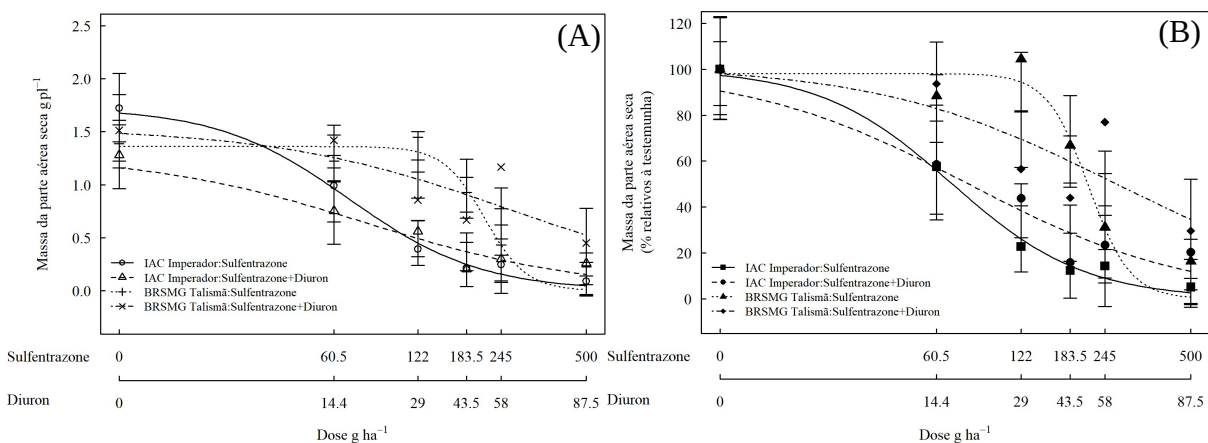


Figura 16 – Massa da parte aérea seca de plantas de feijão-comum aos 28 dias após aplicação (DAA) das cultivares IAC Imperador e BRSMG Talismã, ob aplicação de sulfentrazone e sulfentrazone+diuron em diferentes doses. (A) valores apresentados em g pl⁻¹ e (B) valores percentuais relativos à testemunha (%). Barras correspondem ao erro padrão da média. UTFPR, Pato Branco - PR, 2021.



O efeito 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.

No presente ensaio, não é possível afirmar a interferência do pH do solo na biodisponibilidade dos produtos, pelos valores inferiores ao pKa (6,5) do

sulfentrazone e caráter não-iônico de diuron.

Estudos relatam que em solos de textura arenosa a aplicação de diuron isolado e em mistura a sulfentrazone elevou lixiviação das moléculas (GARCIA *et al.*, 2012; EL-NAHHAL,HAMDONE, 2017; MATOS, 2018; MUNDT *et al.*,2019). Em mistura, os ingredientes ativos podem competir pelo sítio de sorção no colóides do solo, interferindo na biodisponibilidade das moléculas com maior e menor capacidade de sorção (FARENHORST; PROKOPOWICH, 2003).

Outro aspecto importante a ser destacado nos estudos de resposta as doses tanto os conduzidos em solo argiloso quanto em solo arenoso, é a elevada diferença de tolerância entre as cultivares avaliadas aos herbicidas sulfentrazone e sulfentrazone + diuron. A elevada tolerância da cultivar BRSMG Talismã ao herbicida sulfentrazone já havia sido relatada nos estudos desenvolvidos por Brusamarello *et al.* (2021).

Os resultados obtidos no presente estudo serão extremamente importantes para a avaliação do potencial de uso de herbicidas para uso no feijoeiro, como é o caso do sulfentrazone e da associação de sulfentrazone com diuron. O fato dos estudos de resposta à dose terem sido conduzidos em dois solos com características distintas traz informações relevantes sobre as doses máximas toleradas pela cultura sob distintas condições. Atualmente, há limitado número de informações sobre a seletividade de herbicidas para o feijoeiro. Além disso, essas informações são importantes para o desenvolvimento de novas pesquisas que determinem os mecanismos genéticos e bioquímicos envolvidos na tolerância.

5 CONCLUSÕES

As cultivares avaliadas apresentam sensibilidade ao herbicida diuron, o qual na dose de $87,5 \text{ g ha}^{-1}$ é suficiente para reduzir os valores das variáveis resposta, em pré-emergência.

A tolerância ao herbicida sulfentrazone isolado e sulfentrazone+ diuron, varia de acordo com a cultivar, textura de solo e dose utilizada.

De uma forma geral, tanto no Latossolo quanto no Argissolo, as associações de sulfentrazone+diuron reduzem mais a tolerância do feijoeiro, em comparação ao sulfentrazone isolado.

A seletividade de sulfentrazone e de sulfentrazone+diuron ao feijoeiro é menor em Argissolo do que em Latossolo.

As doses necessárias para atingir 50% de redução da tolerância ou do desenvolvimento das plantas (D_{50}) revelam tolerância aos tratamentos herbicidas muito superior da cultivar BRSMG Talismã em relação a IAC Imperador.

Há efeito protetor de diuron sobre a fitotoxicidade gerada por sulfentrazone em algumas combinações entre esses herbicidas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo contribui para os conhecimentos quanto à tolerância de feijão-comum aos herbicidas em aplicação de pré-emergência com informações quanto o comportamento das moléculas em solos de diferentes texturas.

Este trabalho representa um ponto inicial de novas pesquisas, que investiguem a atividade enzimática e o comportamento fisiológico envolvidos que possam agregar na tolerância ao sulfentrazone e sulfentrazone+diuron. Com intuito de viabilizar as doses selecionadas, um estudo de curva de dose-resposta no controle de espécies infestantes torna-se interessante na contribuição com os presentes resultados.

Pesquisas sobre o efeito protetor do diuron ao sulfentrazone e para a seleção de *safeners* constitui um potencial artifício para ampliação das alternativas de herbicidas pré-emergentes liberados para a cultura. O que está atrelado a viabilidade de manejo de plantas infestantes sem favorecer a resistência aos mecanismos de ação, como os inibidores de PROTOX e Fotossistem II.

Ainda, é válido considerar que os resultados foram obtidos sob condições de ambiente controlado, em casa de vegetação. Assim, torna-se imprescindível a realização de ensaios a campo. Podendo assim, obter-se resultados e respostas próximas as condições endofoclimáticas e de manejo aplicados à cultura, bem como a avaliação de componentes de rendimento e eficiência no controle de plantas daninhas.

REFERÊNCIAS

- ADAPAR, Agência de Defesa Agropecuária do Paraná. **Sanidade vegetal: Agrotóxicos –Herbicidas**. Acesso em: <<http://www.adapar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=387>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/trigo>> Acesso em: 09 de agosto de 2021.
- AKBULUT, Gulcin Beker *et al.* **Effects of salicylic acid and organic selenium on wheat (*Triticum aestivum* L.) exposed to fenoxaprop-p-ethyl**. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 148, p. 901-909, 2018.
- BARCELLOS JÚNIOR, Lucas Heringer. **Comportamento do saflufenacil em Latossolos com diferentes teores de matéria orgânica**. 2018.
- BARTUCCA, Maria Luce *et al.* **Effect of three safeners on sulfur assimilation and iron deficiency response in barley (*Hordeum vulgare*) plants**. *Pest management science*, v. 73, n. 1, p. 240-245, 2017.
- BLANCO, F. M. G.; VELINI, E. D. **Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com soja e seu efeito em culturas sucedâneas**. *Planta Daninha*, v. 23, p. 693-700, 2005.
- BRUSAMARELLO, Antonio Pedro *et al.* **Tolerance of Brazilian bean cultivars to protoporphyrinogen oxidase inhibiting-herbicides**. *Journal of Plant Protection Research*, 2021.
- BRUSAMARELLO, Antonio Pedro *et al.* **Tolerância de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) aos herbicidas inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase**. 2019.
- CARVALHO, Leonardo Bianco de. **Herbicidas / Editado pelo autor**. Lages, SC, 2013.
- CARVALHO, S.J.P. *et al.* **Herbicide selectivity by differential metabolism: considerations for reducing crop damages**. *Scientia Agricola*, v.66, n.1, p.136-142, 2009.
- CARVALHO, S. J. P.; NETTO, A. G. **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.
- COBB, A.H.; READE, J.P.H. **Herbicides and plant physiology**. 2ª ed. Newport-UK: Harper Adams. 2010.
- COBUCCI, T.; STEFANO, J. G.; KLUTHCOUSKI, J. **Manejo e controle de plantas daninhas na cultura do feijão em plantio direto**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de grãos**. V8-Safra 2020/2021. N.9. Brasília, p. 87-97, 2021.

CURY, J. P. *et al.* **Eficiência nutricional de cultivares de feijão em competição com plantas daninhas**. Planta Daninha, 2013.

DALAZEN, G. *et al.* **Occurrence and importance of herbicide resistance caused by degradation enhancement for weed management**. Revista Brasileira de Herbicidas, v. 15, n. 1, p. 26-38, 2016.

DAN HESS, F. **Mode of action of photosynthesis inhibitors**. In: An intensive course on the activity, selectivity, behavior and fate of herbicides in plants and soil. Purdue University, 1994.

DA SILVA, João Renato Vaz *et al.* **Fluxofenim used as a safener on sorghum seed for S-metolachlor herbicide**. Bioscience Journal, v. 30, 2014.

DAVIES, Joanna *et al.* **Mode of action of naphthalic anhydride as a safener for the herbicide AC 263222 in maize**. Pesticide Science, v. 52, n. 1, p. 29-38, 1998.

DE FARIA, L. C. *et al.* **BRSMG Talismã: uma nova opção de cultivar de feijoeiro comum com grão carioca para o Estado do Paraná**. Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, 2004.

DENG, Xile, *et al.* **"Novel phenylpyrimidine derivatives containing a hydrazone moiety protect rice seedlings from injury by metolachlor."** Bioorganic Chemistry 108 (2021): 104645.

DE OLIVEIRA, Maurílio Fernandes; BRIGHENTI, Alexandre Magno. **Comportamento dos herbicidas no ambiente**. Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE), 2011.

DE QUADROS, Andressa Serafim de *et al.* **Associações de herbicidas na dessecação pré-semeadura de soja**. Revista Brasileira de Herbicidas, v. 19, n. 2, p. 705-1-9), 2020.

DEL BUONO, Daniele *et al.* **Phytoremediation and detoxification of xenobiotics in plants: herbicide-safeners as a tool to improve plant efficiency in the remediation of polluted environments. A mini-review**. International Journal of Phytoremediation, v. 22, n. 8, p. 789-803, 2020.

DOS REIS, Fabricia Cristina *et al.* **Lixiviação de diuron, hexazinona e sulfometuron-metil aplicados isoladamente e em mistura em solos com texturas contrastantes**. Jornal de química agrícola e alimentar, v. 65, n. 13, pág. 2645-2650, 2017.

DUHOUX, Arnaud *et al.* **Herbicide safeners decrease sensitivity to herbicides inhibiting acetolactate-synthase and likely activate non-target-site-based resistance pathways in the major grass weed Lolium sp.(Rye-grass)**. Frontiers in plant science, v. 8, p. 1310, 2017.

DUKE, Stephen O. *et al.* **Protoporphyrinogen oxidase-inhibiting herbicides**. Weed Science, v. 39, n. 3, p. 465-473, 1991.

EDWARDS, R.; DIXON, D. P.; WALBOT, V. **Plant glutathione S-transferases: enzymes with multiple functions in sickness and in health**. Trends in Plant Science, Londres, v.5, n.5, p.193-198, 2000.

ELMORE, Matthew T. *et al.* **Cytochrome P450 inhibitors reduce creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*) tolerance to topramezone**. PloS one, v. 10, n. 7, p. e0130947, 2015.

EL-NAHHAL, Yasser; ABADSA, Mohamed; AFIFI, Samir. **Adsorption of diuron and linuron in Gaza soils**. American Journal of Analytical Chemistry, v. 4, n. 07, 2013.

EL-NAHHAL, Yasser; HAMDONA, Nisreen. **Adsorption, leaching and phytotoxicity of some herbicides as single and mixtures to some crops**. Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences, v. 22, p. 17-25, 2017.

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

FERNANDES, C. P. C. *et al.* **Tolerância do feijoeiro a herbicidas aplicados na culturada cana-de-açúcar**. Revista Brasileira de Herbicidas, v. 10, n. 2, p. 121-133, 2011.

FERREIRA, B. P. *et al.* (2018). **ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portuguese)**. R package version 1.2.0. <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>

FERREIRA, L. R. *et al.* **Manejo de Plantas Daninhas**. In: CARNEIRO, J.E.S; DE PAULA JR; T.J (Ed.). Feijão: do plantio à colheita. Viçosa: Ed. UFV, p.208-241, 2015.

FERRI, Miguel VW; RIZZARDI, Mauro A. **Destino dos herbicidas no ambiente**. VIDAL, RA; MEROTTO JUNIOR, A.(Ed.). Herbicidologia. Porto Alegre: Evangraf, 2001.

FILHO, Francisco Aires Sizenando *et al.* **Seletividade de diferentes herbicidas ao feijão-caupi**. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, 2013.

FMC Corp. **Technical bulletin of sulfentrazone**. Philadelphia: 1995. 6 p.

FMC QUÍMICA DO BRASIL LTDA. **Boral 500 SC**. Disponível em: <<http://www.adapar.pr.gov.br/arquivos/File/defis/DFI/Bulas/Herbicidas/boral500sc.pdf>>. Acesso em: 19 maio de 2019.

FMC QUÍMICA DO BRASIL LTDA. **STONE**. Disponível em: <<https://fmcagricola.com.br/Content/Fotos/Bula%20-%20Stone.pdf>>. Acesso em: 10 julho de 2020.

FRANS, R. *et al.* **Experimental design and techniques for measuring plant responses to weed control practices**. In: CAMPER, N. D. Research methods in weed science. 3.ed. Champaign: Southern Weed Science Society, 1986. p. 29-46.

GALON, Leandro *et al.* **Associação de herbicidas para o controle de plantas**

daninhas em feijão do tipo preto. Revista Brasileira de Herbicidas, v. 16, n. 4, p. 268-278, 2017.

GALON, Leandro *et al.* **Seletividade de herbicidas às culturas pelo uso de protetores químicos.** Revista Brasileira de Herbicidas, v. 10, n. 3, p. 291-304, 2011.

GARCIA, D. B., *et al.* **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

GAZZIERO, D. L. P. **Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil.** Planta Daninha, v. 33, n. 1, p. 83-92, 2015.

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, 2016. p. 119-132.

GIANNAKOPOULOS, George *et al.* **Safening activity and metabolism of the safener cyprosulfamide in maize and wheat.** Pest management science, v. 76, n. 10, p. 3413-3422, 2020.

GUBIANI, João Edison *et al.* **Seletividade e controle de plantas daninhas da mistura formulada de sulfentrazone+ diuron na cultura da soja.** Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 6, p. 63320-63333, 2021.

HATZIOS, Kriton K.; BURGOS, Nilda. **Metabolism-based herbicide resistance: regulation by safeners.** Weed Science, v. 52, n. 3, p. 454-467, 2004.

HEKMAT, Sharareh *et al.* **Responses of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to sulfentrazone.** Crop Protection, v. 26, n. 4, p. 525-529, 2007.

IAC, Instituto Agronômico de Campinas. **Centro de grãos e fibras: cultivares de feijão IAC.** Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/graos/feijao.php>>. Acesso em: 05 de maio de 2020.

INOUE, Miriam Hiroko *et al.* **Potencial de lixiviação e efeito residual de diuron+ hexazinone+ sulfometuron-methyl em solos de textura contrastante.** Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, v. 58, n. 4, p. 418-426, 2015.

JACOBS, J. M.; JACOBS, N. J. **Porphyrin accumulation and export by isolated barley (*Hordeum vulgare* L.) plastids: Effect of diphenyl ether herbicides.** Plant Physiol. 1993.

KALSING, Augusto; VIDAL, Ribas Antonio. **Redução da infestação de papuã (*Urochloa plantaginea*) no feijoeiro comum através do uso de herbicidas residuais.** Planta Daninha, v. 30, p. 575-580, 2012.

KRAEHMER, Hansjoerg *et al.* **Herbicides as weed control agents: state of the art: I. Weed control research and safener technology: the path to modern agriculture.** Plant physiology, v. 166, n. 3, p. 1119-1131, 2014.

LANGARO, Ana Claudia. **Sorção e lixiviação do sulfentrazone em latossolo vermelho-amarelo aplicado de forma isolada e em mistura com formulações de glyphosate.** 2018.

LOPES, Fernanda Mascarenhas. **Sorção e dessorção de atrazina, e frações de carbono orgânico em solo cultivado com plantas de cobertura.** 2020.

LUZ, Jose Magno Queiroz *et al.* **Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da batata.** Horticultura Brasileira, v. 36, n. 2, 2018.

MALLAWATANTRI, A. P.; MULLA, D. J. **Herbicide adsorption and organic carbon contents on adjacent low-input versus conventional farms.** American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, 1992.

MAPA, Ministério da Agricultura e Abastecimento. **Secretaria de política agrícola portaria nº 33, de 8 de julho de 2013.** Disponível em: <<http://www.abrasem.com.br/wp-content/uploads/2013/07/Portaria-n%C2%B0-33-de-8-de-julho-de-2013-Zoneamento-Agr%C3%ADcola-Feij%C3%A3o-1%C2%AA-safraPR-Ano-safra-2013.14-DOU-11.07.13>>. Acessado em: 10 de maio de 2021.

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.

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.

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

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.

MOREIRA, F. R. B.; GONZAGA, A. C. de O.; COBUCCI, T. **Herbicidas.** Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_46_1311200215103.html>. Acesso em: 05 de maio de 2021.

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

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas.** Curitiba: Omnipax, 2011.

OLIVEIRA Jr., R. S. *et al.* **Tolerância de cinco cultivares de mandioca (Manihot esculenta) a herbicidas.** Planta Daninha, v.19, n.1, p.119-125, 2001

OLIVEIRA JÚNIOR, R.S; REGITAN, J. B. **XV- Dinâmica de pesticidas no solo.** In: Química e Mineralogia do solo, Parte II, 685p. SBCS: Viçosa, 2009.

- PAGNONCELLI JR., F.D.B. *et al.* **Tolerance of common bean plants to ethoxysulfuron herbicide and the mechanism involved in the process.** *Planta Daninha*, v. 34, p. 535-543, 2016.
- PAGNONCELLI JUNIOR, Fortunato de Bortoli *et al.* **Habilidade competitiva do feijoeiro e sua tolerância ao herbicida Ethoxysulfuron.** 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- PAPORISCH, Amit; RUBIN, Baruch. **Isoxadifen safening mechanism in sweet corn genotypes with differential response to P450-metabolized herbicides.** *Pesticide Biochemistry and Physiology*, v. 138, p. 22-28, 2017.
- PARREIRA, Mariana Casari. **Influência das plantas daninhas na cultura do feijoeiro em função do espaçamento e da densidade de plantas.** 2009.
- PASSOS, Ana Beatriz RJ *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, Ana Beatriz RJ *et al.* **Leaching of sulfentrazone in soils of reforestation in Brazil.** *Environmental Earth Sciences*, v. 74, n. 2, p. 1211-1215, 2015.
- POWLES, S.B.; YU, Q. **Evolution in action: plants resistant to herbicides.** *Annual Review of Plant Biology*, Palo Alto, v.61, p.317-347, 2010.
- PRATA, Fábio; LAVORENTI, Arquimedes. **Comportamento de herbicidas no solo: influência da matéria orgânica.** *Revista Biociências*, v. 6, n. 2, 2000.
- PROCÓPIO, S. D. *et al.* **Efeito da irrigação inicial na profundidade de lixiviação do herbicida s-metolachlor em diferentes tipos de solo.** *Planta Daninha*, v. 19, n. 3, p. 409-417, 2001.
- PROCÓPIO, S. O. *et al.* **Características fisiológicas das culturas de soja e feijão e de três espécies de plantas daninhas.** *Planta Daninha*, v. 22, n. 02, p. 211-216, 2004.
- R Core Team (2019). **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- READE, J.P.H. *et al.* **A role for glutathione S-transferases in resistance to herbicides in grasses.** *Weed Science*, v. 52, n.3, p.468-474, 2004.
- REZENDE, Adilson Lemos *et al.* **Associação de herbicidas para o manejo de plantas daninhas em milho.** *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 19, n. 4, p. 742-1-8), 2020.
- 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.

SALGADO, T. P. *et al.* **Interferência das plantas daninhas no feijoeiro carioca.** Planta daninha, v. 25, n. 3, p. 443-448, 2007.

SCHMITT, Jaqueline *et al.* **Mistura dos herbicidas clodinafop-propargyl e 2, 4-d na seletividade para o trigo e controle de aveia preta.** Campo Digital, v. 15, n. 1, 2020.

SOLTANI, N.; NURSE, R. E.; SHROPSHIRE, C.; SIKKEMA, P. H. **Tolerance of adzuki bean to pre-emergence herbicides.** Canadian Journal of Plant Science, v. 95, n. 5, p. 959–963, 2015.

SUN, Lanlan *et al.* **The expression of detoxification genes in two maize cultivars by interaction of isoxadifen-ethyl and nicosulfuron.** Plant Physiology and Biochemistry, v. 129, p. 101-108, 2018.

TAZIAR, A. N., *et al.* **Sulfentrazone tank mix partners for weed control in white bean (*Phaseolus vulgaris* L.).** Canadian Journal of Plant Science, v. 96, n. 6, p. 1–8, 2017.

TAZIAR, A., *et al.* **Tolerance of Four Dry Bean Market Classes to Pre-Emergence Applications of Sulfentrazone.** American Journal of Plant Sciences, v. 7, p. 2248-2256, 2016.

TAZIAR, Allison N. *et al.* **Response of four dry bean market classes to pre-emergence applications of pyroxasulfone, sulfentrazone and pyroxasulfone plus sulfentrazone.** American Journal of Plant Sciences, v. 7, n. 08, p. 1217, 2016.

TEIXEIRA, I. R. *et al.* **Competição entre feijoeiros e plantas daninhas em função do tipo de crescimento dos cultivares.** Planta Daninha, v. 27, n. 2, p. 235-240, 2009.

VIDAL, R. A. *et al.* **Interferência e nível de dano econômico de *Brachiaria plantaginea* e *Ipomoea nil* na cultura do feijão comum.** Ci. Rural, v. 40, n. 8, p. 1675-1681, 2010.

VIDAL, R. A. *et al.* **Nível crítico de dano de infestantes em culturas anuais.** Porto Alegre: Evangraf, 2010.

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

WEBER, B. J.; WILKERSON, G. G.; REINHARDT, C. F. **Calculating pesticide sorption coefficients (Kd) using selected soil properties.** Chemosphere, v. 55, n. 2, p. 157-166, 2004.

WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (WSSA). **Herbicide Handbook.** Ninth edition. Senseman, S. (Ed.). Lawrence, USA: WSSA. 458 p., 2007.

WERCK-REICHHART, D. *et al.* **Cytochromes P450 for engineering herbicide tolerance.** Trends in plant science, v. 5, n. 3, p. 116-123, 2000.

YUAN, Joshua S., *et al.* **Non-target-site herbicide resistance: a family business.**

Trends in Plant Science, v. 12, n. 1, p. 6-13, 2007.

ZHANG, Jianhua; HAMILL, Allan S.; WEAVER, Susan E. **Antagonism and synergism between herbicides: trends from previous studies**. Weed technology, v. 9, n. 1, p. 86-90, 1995.

ZHANG, Jing Jing; YANG, Hong. **Metabolism and detoxification of pesticides in plants**. Science of The Total Environment, p. 148034, 2021.

ZHANG, Yuan-Yuan *et al.* **Protective efficacy of phenoxyacetyl oxazolidine derivatives as safeners against nicosulfuron toxicity in maize**. Pest Management Science, v. 77, n. 1, p. 177-183, 2021.