

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

ANTONIO PEDRO BRUSAMARELLO

**TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.)
AOS HERBICIDAS INIBIDORES DA ENZIMA
PROTOPORFIRINOGÊNIO OXIDASE**

TESE

PATO BRANCO

2019

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

ANTONIO PEDRO BRUSAMARELLO

**TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.)
AOS HERBICIDAS INIBIDORES DA ENZIMA
PROTOPORFIRINOGÊNIO OXIDASE**

TESE

PATO BRANCO

2019

ANTONIO PEDRO BRUSAMARELLO

**TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.)
AOS HERBICIDAS INIBIDORES DA ENZIMA
PROTOPORFIRINOGÊNIO OXIDASE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Michelangelo Muzell
Trezzi

Co-Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique de
Oliveira

Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Taciane Finatto

PATO BRANCO

2019

B912t

Brusamarello, Antonio Pedro

Tolerância de cultivares de feijão (*Paseolus vulgaris* L.) aos herbicidas inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase/ Antonio Pedro Brusamarello.

181 f.: il. ; 30 cm

Orientador: Prof. Dr. Michelangelo Muzell Trezzi

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Henrique de Oliveira

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Taciane Finatto

Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, 2019.

Bibliografia: f. 166 – 181.

1. Feijão-comum. 2. Ervas daninhas - Controle. 3. Herbicida. I. Trezzi, Michelangelo Muzell, orient. II. Oliveira, Paulo Henrique, coorient. III. Finatto, Taciane, coorient. IV. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. V. Título.

CDD (22. ed): 630

Ficha Catalográfica elaborada por:
Suélem Belmudes Cardoso CRB9/1630
Biblioteca da UTFPR Câmpus Pato Branco



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Tese nº 54

**TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) AOS
HERBICIDAS INIBIDORES DA ENZIMA PROTOPORFIRINOGÊNIO OXIDASE**

por

ANTONIO PEDRO BRUSAMARELLO

Tese apresentada às 13 horas 30 min. do dia 28 de maio de 2019 como requisito parcial para obtenção do título de DOUTOR EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Sistemas de Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção Vegetal) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo designados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Elouize Xavier
Externo (UNISEP/DV)

**Prof. Dr. Henrique Von Hertwig
Bittencourt**
Externo (UFFS/Laranjeiras do Sul)

Prof. Dr. Anderson Luis Nunes
UTFPR/PB

**Prof. Dr. Pedro Valério Dutra de
Moraes**
UTFPR/DV

Prof. Dr. Michelangelo Muzell Trezzi
UTFPR/PB
Orientador

Prof. Dr. Alcir José Modolo
Coordenador do PPGAG

* O termo de Aprovação com as assinaturas encontram-se na Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Dedico este trabalho a minha esposa Micheli Negri Brusamarello.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, da sabedoria e do ensinamento.

Agradeço a minha esposa Micheli Negri Brusamarello, por todo seu companheirismo, paciência, atenção, carinho e amor ao longo desta caminhada muito importante em nossas vidas.

Agradeço aos sogros Darci Luís Negri e Silvana Alberti Negri e ao cunhado Eduardo Luis Negri pela dedicação, paciência, suporte financeiro, ajuda em experimentos, apoio emocional e a grande lição de vida ao longo deste período do doutorado.

Agradeço aos pais Joaquim Antonio Brusamarello e Teresinha Bianchet Brusamarello pelo apoio ao longo dos anos que possibilitou minha caminhada até o doutorado.

Agradeço em especial ao meu orientador Michelangelo Muzell Trezzi e coorientadores Paulo Henrique de Oliveira e Taciane Finatto pelo apoio e conhecimentos repassados, sendo exemplos e inspiração.

Agradeço de forma especial ao meu compadre Fortunato de Bortoli Pagnoncelli Júnior, que auxiliou grandemente durante todo o doutorado, por todo seu apoio nos experimentos e nas trocas de conhecimentos.

Agradeço a CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço a todos que estiveram envolvidos ao longo desta etapa do doutorado e que possibilitaram o alcance de mais esse objetivo em minha vida.

“Vá até onde a sua vista alcançar e, ao chegar lá, você conseguirá enxergar mais longe ainda” – **John Pierpont Morgan**

RESUMO

BRUSAMARELLO, Antonio Pedro. Tolerância de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) aos herbicidas inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase. 181 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção Vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Para a cultura do feijão existem poucos herbicidas registrados que exercem seletividade à cultura e sejam eficientes no controle de espécies daninhas de folhas largas. Um dos fatores que contribui para a escassez de herbicidas registrados é a elevada sensibilidade do feijão aos mesmos. Isso ressalta a grande importância de pesquisas investigando a tolerância do feijão a herbicidas que ainda não possuem registro à cultura, como novas alternativas para o controle das plantas daninhas. Estudos recentes comprovaram a existência de variabilidade de tolerância de cultivares feijão ao herbicida saflufenacil, inibidor da enzima protoporfirinogênio oxidase (Protox), quando aplicado na modalidade de pré-emergência da cultura. O presente trabalho teve por objetivo investigar a tolerância do feijão aos herbicidas inibidores da Protox. Os experimentos foram executados para determinar: (1) a tolerância diferencial do herbicida saflufenacil nas modalidades de pré e pós-emergência; (2) a existência de níveis diferenciados de tolerância entre cultivares de feijão; (3) a tolerância a herbicidas de diferentes grupos químicos inibidores da Protox; (4) a seletividade de diferentes doses de saflufenacil e sulfentrazone em cultivares de feijão e o efeito no controle de plantas daninhas; e (5) mecanismos de tolerância baseados na metabolização dos herbicidas. Os resultados permitem inferir que os níveis de tolerância do feijoeiro ao saflufenacil são muito superiores na modalidade de pré-emergência, em relação à pós-emergência, em que doses muito reduzidas de saflufenacil causam a morte das plantas. Dentre as cultivares testadas, a BRSMG Talismã e a IAC Milênio apresentaram, respectivamente, a maior e menor tolerância ao saflufenacil ($20,5 \text{ g ha}^{-1}$). A tolerância aos herbicidas saflufenacil, sulfentrazone, flumioxazin e fomesafen aplicados em pré-emergência depende da cultivar e da dose utilizada, não havendo um padrão de tolerância cruzada aos inibidores da Protox nas cultivares. Em condições de campo, saflufenacil apresentou controle satisfatório das plantas daninhas apenas na dose de $52,5 \text{ g ha}^{-1}$, a qual causou elevada fitotoxicidade para o feijão. Sulfentrazone (400 g ha^{-1}) apresentou nível satisfatório de controle das plantas daninhas e seletividade para as cultivares BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú, demonstrando bom potencial para ser empregado em pré-emergência em solo do tipo latossolo. Em ensaios em casa-de-vegetação, o aumento da tolerância da cultivar sensível com uso do protetor mefenpyr-diethyl e a redução da tolerância da cultivar tolerante com o inibidor clorpirifós, sugerem que a metabolização está envolvida no mecanismo de tolerância aos inibidores da Protox. Conclui-se que o nível de tolerância manifestada em pré-emergência é dependente da cultivar e do herbicida empregado, sugerindo o envolvimento da metabolização do herbicida como um dos mecanismos de tolerância do feijão aos inibidores da enzima Protox.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*. Seletividade. Protox. Plantas daninhas.

ABSTRACT

BRUSAMARELLO, Antonio Pedro. Tolerance of bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) to protoporphyrinogen oxidase inhibitory herbicides. 181 f. Thesis (Ph.D. in Agronomy) – Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Crop), Federal University of Technology Paraná. Pato Branco, 2019.

For bean crop there are few registered herbicides that exert crop selectivity and are efficient in controlling broadleaf weeds. This underscores the great importance of research investigating the tolerance of the bean to herbicides that do not yet have a record to the crop, as new alternatives for the control of weeds. Recent studies have confirmed the existence of variability of tolerance of bean cultivars to saflufenacil herbicide, inhibitor of the protoporphyrinogen oxidase (Protox) enzyme, when applied in the pre-emergence mode of the culture. The present work aimed to investigate the tolerance of beans to herbicides inhibitors of Protox enzyme. The experiments were performed to determine: (1) the differential tolerance of saflufenacil herbicide in pre and post emergence modalities; (2) the existence of different tolerance levels among bean cultivars; (3) herbicide tolerance of different Protox inhibitor chemical groups; (4) the selectivity of different doses of saflufenacil and sulfentrazone in bean cultivars and the effect on weed control; and (5) tolerance mechanisms based on herbicide metabolism. The results allow us to infer that the bean tolerance levels to saflufenacil are much higher in the preemergence modality than the postemergence, in which very low doses of saflufenacil cause plant death. Among the cultivars tested, BRSMG Talismã and IAC Milênio presented, respectively, the highest and lowest tolerance to saflufenacil (20.5 g ha^{-1}). The tolerance to the saflufenacil, sulfentrazone, flumioxazin and fomesafen herbicides applied in pre-emergence depends on the cultivar and dose used, and there is no cross tolerance pattern to Protox inhibitors in the cultivars. In field conditions, saflufenacil presented satisfactory control of weeds only at the dose of 52.5 g ha^{-1} , which caused high phytotoxicity to the bean. Sulfentrazone (400 g ha^{-1}) showed satisfactory level of weed control and selectivity for the cultivars BRSMG Talismã and IPR Tuiuiú, showing good potential to be used in pre-emergence on latosol type soil. In greenhouse trials, increased tolerance of the sensitive cultivar with mefenpyr-diethyl protector and the reduction of tolerance of the tolerant cultivar to the chlorpyrifos inhibitor, suggest that the metabolism is involved in the mechanism of tolerance to Protox inhibitors. It is concluded that the tolerance level manifested in pre-emergence is dependent on the cultivar and herbicide employed, suggesting the involvement of herbicide metabolism as one of the mechanisms of bean tolerance to Protox enzyme inhibitors.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*. Selectivity. Protox. Weeds.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** - Precipitação pluvial, temperaturas mínima e máxima durante o período de condução do experimento a campo no ano de 2017 no município de Pato Branco – PR. **Fonte:** SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná). 49
- Figura 2** - Precipitação pluvial, temperaturas mínima e máxima durante o período de condução do experimento a campo no ano de 2017. Dados referentes ao município de Francisco Beltrão – PR. SIMEPAR não possui estação meteorológica no município de Verê, justificando-se o uso dos dados climáticos da cidade mais próxima. **Fonte:** SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná). 50
- Figura 3** – Tolerância relativa (A), matéria seca da parte aérea na média de cultivares (B) e matéria seca da parte aérea na média de doses em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida (C), aos 35 DAA de saflufenacil em pré-emergência. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 57
- Figura 4** – Tolerância relativa de cultivares de feijão (A) e matéria seca da parte aérea, em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida (B) aos 42 DAA de saflufenacil em pós-emergência. 60
- Figura 5** – Tolerância relativa aos 14 (A) e 28 DAA (B) e altura de planta aos 14 (C) e 28 DAA (D) de 20,5 g ha⁻¹ de saflufenacil em pré-emergência para as diferentes cultivares de feijão, em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott ($p < 0,05$). 63
- Figura 6** – Matéria verde da parte aérea (A) aos 28 DAA de 20,5 g ha⁻¹ de saflufenacil em pré-emergência para as diferentes cultivares de feijão, em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida. Escala de tolerância ao herbicida saflufenacil (B) com base na matéria verde da parte aérea aos 28 DAA. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de agrupamento de médias de Scott e Knott ($p < 0,05$). 64
- Figura 7** – Tolerância relativa aos 14 DAA de saflufenacil (A), flumioxazin (B), sulfentrazone (C) e fomesafen (D) em pré-emergência, em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula comparando doses e minúsculas comparando cultivares, não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). 66
- Figura 8** – Tolerância relativa aos 28 DAA de flumioxazin (A) e fomesafen (B), considerando doses e cultivares; tolerância das cultivares a saflufenacil e sulfentrazone, na média das doses (C); e tolerância em resposta a doses de saflufenacil e sulfentrazone, na média das cultivares (D) em pré-emergência, em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula comparando doses e minúsculas comparando cultivares, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$) (Figuras A e B). Médias seguidas pela mesma letra comparando cultivares dentro de herbicida ou dose dentro de herbicida não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$) (Figuras C e D). 67
- Figura 9** – Altura de planta aos 14 DAA com uso em pré-emergência de fomesafen (A), considerando doses e cultivares; com uso de saflufenacil, flumioxazin e sulfentrazone, na média das doses (B); e altura em resposta a doses de saflufenacil, flumioxazin e sulfentrazone, na média das cultivares (C), em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula comparando doses e minúsculas comparando cultivares, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$) (Figura A). Médias seguidas pela mesma letra comparando cultivares dentro de herbicida ou dose dentro de herbicida não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$) (Figuras B e C). 68
- Figura 10** – Altura de planta aos 28 DAA de saflufenacil (A), considerando doses e cultivares; altura das cultivares a sulfentrazone e fomesafen, na média das doses (B); e altura em resposta a doses de sulfentrazone e fomesafen, na média das cultivares (C) em pré-emergência, em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula comparando doses e minúsculas comparando cultivares, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$) (Figura A). Médias seguidas pela mesma

- letra comparando cultivares dentro de herbicida ou dose dentro de herbicida não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$) (Figuras B e C). 69
- Figura 11** – Matéria verde da parte aérea (% relativa à testemunha), na média das doses, para oito cultivares de feijão (A) e média das cultivares para doses, em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida (B) aos 28 DAA de saflufenacil, flumioxazin, sulfentrazone e fomesafen. Médias seguidas pela mesma letra comparando cultivares dentro de herbicida ou dose dentro de herbicida não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). 71
- Figura 12** – Matéria seca da parte aérea (% relativa à testemunha), na média das doses, para oito cultivares de feijão (A) e média das cultivares para doses (B) aos 28 DAA de saflufenacil, flumioxazin, sulfentrazone e fomesafen. Médias seguidas pela mesma letra comparando cultivares dentro de herbicida ou dose dentro de herbicida não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). 72
- Figura 13** – Tolerância relativa (% relativa à testemunha) das cultivares de feijão no experimento sem plantas daninhas (SPD) aos 14 (A) e 28 DAA (C) e no experimento com plantas daninhas (CPD) aos 14 (B) e 28 DAA (D), considerando a interação entre cultivar, herbicida e dose. DP: dose padrão. 75
- Figura 14** – Densidade de plantas de feijão (plantas m^{-2}) no experimento sem plantas daninhas (SPD) (A) e com plantas daninhas (CPD) (B), considerando a interação entre cultivar, herbicida e dose. DP: dose padrão. 77
- Figura 15** – Matéria seca da parte aérea do feijão (% relativa à testemunha) considerando a interação entre dose e cultivar (A e D), entre cultivar e dose (B e E) e entre cultivar e herbicida (C e F), respectivamente, no experimento sem (SPD) e com plantas daninhas (CPD) aos 28 DAA. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula comparando herbicidas dentro de cultivar e minúsculas comparando cultivares dentro de herbicidas, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). DP: dose padrão. 79
- Figura 16** – Controle geral das plantas daninhas (%) aos 21 (A) e 28 DAA (B) e densidade de plantas daninhas aos 21 (C) e 28 DAA (D), considerando a interação tripla. DP: dose padrão. ... 82
- Figura 17** – Controle (%) de *Euphorbia heterophylla* aos 21 (A) e 28 DAA (B) e densidade (plantas m^{-2}) aos 21 (C) e 28 DAA (D), considerando a interação tripla. DP: dose padrão. 85
- Figura 18** – Controle de *Bidens pilosa* (%) aos 21 (A) e 28 DAA (B), considerando a interação tripla. DP: dose padrão. 87
- Figura 19** – Densidade de *Bidens pilosa* aos 21 DAA considerando a interação entre herbicidas e doses (A) e cultivares e doses (B); densidade aos 28 DAA, considerando a interação entre cultivares e doses (C), em resposta aos herbicidas (D) e em resposta as cultivares (E). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). DP: dose padrão. 89
- Figura 20** – Controle (%) de *Sida rhombifolia* aos 21 (A) e 28 DAA (B) e densidade aos 21 (C) e 28 DAA (D), considerando a interação tripla. DP: dose padrão. 91
- Figura 21** – Controle de *Ipomoea grandifolia* (%) aos 21 e 28 DAA, considerando a interação entre herbicidas e doses (A e C) e cultivares e doses (B e D). DP: dose padrão. 93
- Figura 22** – Densidade de *Ipomoea grandifolia* aos 21 (A) e 28 (B) DAA, considerando a interação tripla. DP: dose padrão. 94
- Figura 23** – Controle (%) de *Amaranthus retroflexus*, considerando a interação entre herbicidas e doses (A e C) aos 21 DAA e interação entre cultivares e doses (B e D) aos 28 DAA. DP: dose padrão. 96
- Figura 24** – Densidade de *Amaranthus retroflexus* aos 21 (A) e 28 DAA, considerando a interação tripla. DP: dose padrão. 97
- Figura 25** – Número de vagens por planta (NVP), considerando a interação entre cultivares e doses (A) no experimento sem plantas daninhas (SPD) e considerando a interação entre

herbicidas e doses (B) e entre cultivares e doses (D) no experimento com plantas daninhas (CPD). DP: dose padrão.	100
Figura 26 – Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹) sob influência da fitotoxicidade (A) no experimento sem plantas daninhas (SPD) e fitotoxicidade e plantas daninhas (B) no experimento com plantas daninhas (CPD), considerando a interação tripla. Rendimento de grãos da testemunha capinada no experimento sob influência da fitotoxicidade e das plantas daninhas para cultivar BRSMG Talismã foi de 2803,9 e 2093,4 kg ha ⁻¹ para IPR Tuiuiú. DP: dose padrão.	102
Figura 27 – Perda de rendimento de grãos (kg ha ⁻¹) por fitotoxicidade e plantas daninhas (A), plantas daninhas (B) e fitotoxicidade (C), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.	105
Figura 28 – Correlação linear de Pearson entre a perda de rendimento por fitotoxicidade e plantas daninhas com a perda de rendimento sob influência apenas das plantas daninhas ou apenas da fitotoxicidade. r= coeficiente de correlação. * e ** significativo a 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente.	108
Figura 29 – Tolerância relativa (% relativa à testemunha) das cultivares de feijão no experimento sem plantas daninhas (SPD) aos 14 (A) e 28 DAA (C) e no experimento com plantas daninhas (CPD) aos 14 (B) e 28 DAA (D), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.	110
Figura 30 – Densidade de plantas de feijão (plantas m ⁻²) no experimento sem plantas daninhas (SPD) (A) e com plantas daninhas (CPD) (B), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.	112
Figura 31 – Matéria seca da parte aérea do feijão (% relativa à testemunha) considerando a interação entre herbicidas e doses (A), entre cultivares e doses (B) e entre cultivares e herbicidas (C) no experimento sem plantas daninhas (SPD), e no experimento com plantas daninhas (CPD), considerando a interação tripla (D). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula comparando herbicidas dentro de cultivar e minúsculas comparando cultivares dentro de herbicidas, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan (p<0,05). DP: dose padrão.	114
Figura 32 – Controle geral das plantas daninhas (%) aos 21 (A) e 28 DAA (B) e densidade de plantas daninhas (plantas m ⁻²) aos 21 (C) e 28 DAA (D), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.	116
Figura 33 – Controle (%) de <i>Euphorbia heterophylla</i> aos 21 (A) e 28 DAA (B) e densidade aos 21 (C) e 28 DAA (D), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.	119
Figura 34 – Controle de <i>Bidens pilosa</i> (%) aos 21 (A) e 28 DAA (B), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.	121
Figura 35 – Densidade de <i>Bidens pilosa</i> (plantas m ⁻²) aos 21 DAA, considerando a interação entre herbicidas e doses (A), cultivares e doses (B) e entre cultivares e herbicidas (C); densidade aos 28 DAA, considerando a interação entre herbicidas e doses (D) e entre cultivares e doses (E). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula comparando herbicidas dentro de cultivar e minúsculas comparando cultivares dentro de herbicidas, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan (p<0,05). DP: dose padrão.	123
Figura 36 – Controle (%) de <i>Sida rhombifolia</i> aos 21 e 28 DAA para as doses (A) e herbicidas (B) e considerando a interação tripla para densidade aos 21 (C) e 28 DAA (D). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05). DP: dose padrão.	125
Figura 37 – Controle de <i>Ipomoea grandifolia</i> aos 21 (A) e 28 DAA (B), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.	126
Figura 38 – Densidade de <i>Ipomoea grandifolia</i> (plantas m ⁻²) aos 21 DAA, considerando a interação entre herbicidas e doses (A) e entre cultivares e doses (B), e aos 28 DAA, considerando interação entre cultivares e doses (C) e para herbicidas (D). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan (p<0,05). DP: dose padrão.	128

- Figura 39** – Controle (%) de *Amaranthus retroflexus* aos 21 e 28 DAA, considerando doses (A) e herbicidas (B); e densidade aos 21 e 28 DAA, considerando herbicidas (C). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$) (Figuras B e C). DP: dose padrão. 129
- Figura 40** – Número de vagens por planta (NVP) considerando a interação entre herbicidas e doses (A), entre cultivares e doses (B) e entre cultivares e herbicidas (C) no experimento sem plantas daninhas (SPD) e considerando a interação tripla (D) no experimento com plantas daninhas (CPD). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula comparando herbicidas dentro de cultivar e minúsculas comparando cultivares dentro de herbicidas, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). DP: dose padrão. 131
- Figura 41** – Rendimento de grãos (kg ha^{-1}) sob influência da fitotoxicidade (A) no experimento sem plantas daninhas (SPD) e fitotoxicidade e plantas daninhas (B) no experimento com plantas daninhas (CPD), considerando a interação tripla. Rendimento de grãos da testemunha capinada no experimento sob influência da fitotoxicidade e das plantas daninhas para cultivar BRSMG Talismã foi de 1607,1 e 2270,2 kg ha^{-1} para IPR Tuiuí. DP: dose padrão. 134
- Figura 42** – Perda de rendimento de grãos (kg ha^{-1}) por fitotoxicidade e plantas daninhas (A), plantas daninhas (B) e fitotoxicidade (C) considerando a interação tripla. DP: dose padrão. 136
- Figura 43** – Correlação linear de Pearson entre a perda de rendimento por fitotoxicidade e plantas daninhas com a perda de rendimento sob influência apenas das plantas daninhas ou apenas da fitotoxicidade. r = coeficiente de correlação. * e ** significativo a 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente. 139
- Figura 44** – Tolerância relativa da cultivar BRSMG Talismã (Tolerante) aos 14 (A) e 28 (B) DAA dos herbicidas saflufenacil ($20,5 \text{ g ha}^{-1}$) e sulfentrazone (800 g ha^{-1}). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando herbicidas dentro de cada inibidor e minúsculas, comparando inibidores dentro de cada herbicida, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). O inibidor clorpirifós (1125 g ha^{-1}) foi aplicado no sulco de semeadura e a associação dos inibidores clorpirifós (1125 g ha^{-1}) e malathion (1000 g ha^{-1}) foi aplicada em pós-emergência no estádio V_2 142
- Figura 45** - Altura de planta da cultivar de feijão BRSMG Talismã (Tolerante) aos 14 (A) e 28 (B) DAA dos herbicidas saflufenacil ($20,5 \text{ g ha}^{-1}$) e sulfentrazone (800 g ha^{-1}). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando herbicidas dentro de cada inibidor e minúsculas, comparando inibidores dentro de cada herbicida, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). O inibidor clorpirifós (1125 g ha^{-1}) foi aplicado no sulco de semeadura e a associação dos inibidores clorpirifós (1125 g ha^{-1}) e malathion (1000 g ha^{-1}) foi aplicada em pós-emergência no estádio V_2 144
- Figura 46** – Matéria verde da parte aérea (A) e matéria seca da parte aérea (B) aos 28 DAA dos herbicidas saflufenacil ($20,5 \text{ g ha}^{-1}$) e sulfentrazone (800 g ha^{-1}) sobre a cultivar de feijão BRSMG Talismã (Tolerante). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando herbicidas dentro de cada inibidor e minúsculas, comparando inibidores dentro de cada herbicida, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). O inibidor clorpirifós (1125 g ha^{-1}) foi aplicado no sulco de semeadura e a associação dos inibidores clorpirifós (1125 g ha^{-1}) e malathion (1000 g ha^{-1}) foi aplicada em pós-emergência no estádio V_2 145
- Figura 47** – Tolerância relativa aos 14 (A) e 28 (B) DAA dos herbicidas saflufenacil (10 g ha^{-1}) e sulfentrazone (200 g ha^{-1}) sobre a cultivar IAC Milênio (Sensível). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando herbicidas dentro de cada protetor e minúsculas, comparando protetores dentro de cada herbicida, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Anidrido naftálico (5 g kg^{-1} de semente) e mefenpyr-diethyl ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$ de sementes) em tratamento de sementes (TS) e mefenpyr-diethyl (18 g ha^{-1}) em pós-emergência (Pós) no estádio V_2 147
- Figura 48** – Altura de planta aos 14 DAA (A) para herbicidas, na média dos protetores e aos 28 (B) DAA dos herbicidas saflufenacil (10 g ha^{-1}) e sulfentrazone (200 g ha^{-1}) sobre a cultivar

IAC Milênio (Sensível). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando herbicidas na média dos protetores ou dentro de cada protetor e minúsculas, comparando protetores dentro de cada herbicida, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Anidrido naftálico (5 g kg^{-1} de semente) e mefenpyr-diethyl ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$ de sementes) em tratamento de sementes (TS) e mefenpyr-diethyl (18 g ha^{-1}) em pós-emergência (Pós) no estágio V₂. 149

Figura 49 – Matéria verde da parte aérea na interação entre cultivares e protetores (A) e matéria seca da parte aérea para herbicidas, na média dos protetores (C) e para protetores, na média dos herbicidas (D) aos 28 DAA dos herbicidas saflufenacil (10 g ha^{-1}) e sulfentrazone (200 g ha^{-1}) sobre a cultivar de feijão IAC Milênio (Sensível). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando herbicidas na média dos protetores ou dentro de cada protetor e minúsculas, comparando protetores na média dos herbicidas ou dentro de cada herbicida, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Anidrido naftálico (5 g kg^{-1} de semente) e mefenpyr-diethyl ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$ de sementes) em tratamento de sementes (TS) e mefenpyr-diethyl (18 g ha^{-1}) em pós-emergência (Pós) no estágio V₂. 151

Figura 50 – Altura de planta (% relativa à testemunha) aos 14 (A) e 21 DAA de sulfentrazone (C) considerando herbicida+inibidor, herbicida+protetor e herbicida na média das cultivares e aos 14 (B) e 21 DAA de sulfentrazone (D) considerando herbicida+inibidor, herbicida+protetor e herbicida, na média das doses. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando inibidor, protetor e herbicida dentro de cada cultivar e minúsculas, comparando cultivares dentro de inibidor, protetor e herbicida, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). O protetor mefenpyr-diethyl ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$ de sementes) foi aplicado em tratamento de sementes (TS) e o inibidor clorpirifós (1125 g ha^{-1}) no sulco de semeadura. 154

Figura 51 – Tolerância relativa (% relativa à testemunha) do feijão aos 14 (A) e 21 DAA (B) de sulfentrazone nas combinações de BRSMG Talismã (Tolerante) e IAC Milênio (Sensível) com inibidor, protetor e apenas herbicida. O protetor mefenpyr-diethyl ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$ de sementes) foi aplicado em tratamento de sementes (TS) e o inibidor clorpirifós (1125 g ha^{-1}) no sulco de semeadura. 157

Figura 52 – Matéria verde da parte aérea (% relativa à testemunha) considerando a interação tripla (A) e matéria seca da parte aérea considerando herbicida+inibidor, herbicida+protetor e herbicida, na média das cultivares (B) e considerando cultivares na média das doses (C). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando inibidor, protetor e herbicida dentro de cada cultivar e minúsculas, comparando cultivares dentro de inibidor, protetor e herbicida, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). O protetor mefenpyr-diethyl ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$ de sementes) foi aplicado em tratamento de sementes (TS) e o inibidor clorpirifós (1125 g ha^{-1}) no sulco de semeadura. 160

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise física e química do solo da área experimental da UTFPR – Câmpus Pato Branco – PR, 2016.	42
Tabela 2 – Análise física e química do solo do local de implantação do experimento no município do Verê – PR, 2017.	48
Tabela 3 - Parâmetros das equações ^(1,2) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis tolerância relativa e matéria seca da parte aérea (MSPA) aos 35 DAA de saflufenacil em pré-emergência.....	57
Tabela 4 - Parâmetros da equação ⁽¹⁾ , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis tolerância relativa e matéria seca da parte aérea (MSPA) aos 42 DAA de saflufenacil em pós-emergência.....	60
Tabela 5 - Parâmetros da equação ⁽¹⁾ , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável tolerância relativa (% relativa à testemunha) das cultivares de feijão no experimento sem (SPD) e com plantas daninhas (CPD).	76
Tabela 6 – Parâmetros das equações ^{ab} , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável densidade de plantas de feijão (plantas m^{-2}) no experimento sem (SPD) e com plantas daninhas (CPD).....	78
Tabela 7 - Parâmetros da equação ⁽¹⁾ , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável matéria seca da parte aérea (MSPA) do feijão (% relativa à testemunha) aos 28 DAA no experimento sem (SPD) e com plantas daninhas (CPD).....	80
Tabela 8 - Parâmetros das equações ^(1,2) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis controle geral das plantas daninhas (%) e densidade de plantas daninhas (plantas m^{-2}) aos 21 e 28 DAA.....	83
Tabela 9 - Parâmetros das equações ^(1,2) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis controle (%) e densidade (plantas m^{-2}) de <i>Euphorbia heterophylla</i> aos 21 e 28 DAA.....	85
Tabela 10 - Parâmetros da equação ⁽¹⁾ , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável controle de <i>Bidens pilosa</i> (%) aos 21 e 28 DAA.	87
Tabela 11 - Parâmetros da equação ⁽¹⁾ , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável densidade de <i>Bidens pilosa</i> (plantas m^{-2}) aos 21 e 28 DAA.....	89
Tabela 12 - Parâmetros da equação ⁽¹⁾ , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis controle (%) e densidade (plantas m^{-2}) de <i>Sida rhombifolia</i> aos 21 e 28 DAA... ..	91
Tabela 13 - Parâmetros da equação ⁽¹⁾ , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável controle de <i>Ipomoea grandifolia</i> (%) aos 21 e 28 DAA.	93
Tabela 14 - Parâmetros da equação ⁽¹⁾ , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável densidade de <i>Ipomoea grandifolia</i> (plantas m^{-2}) aos 21 e 28 DAA.....	94
Tabela 15 - Parâmetros da equação ⁽¹⁾ , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável controle (%) de <i>Amaranthus retroflexus</i> aos 21 e 28 DAA.	96
Tabela 16 - Parâmetros da equação ⁽¹⁾ , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável densidade de <i>Amaranthus retroflexus</i> (plantas m^{-2}) aos 21 e 28 DAA.....	97
Tabela 17 - Parâmetros das equações ^(2,4) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável número de vagens por planta (NVP) no experimento sem (SPD) e com plantas daninhas (CPD).	100
Tabela 18 - Parâmetros das equações ^(1,2,4) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável rendimento de grãos ($kg\ ha^{-1}$) sob influência da fitotoxicidade no experimento sem plantas daninhas (SPD) e fitotoxicidade e plantas daninhas no experimento com plantas daninhas (CPD).....	102

Tabela 19 - Parâmetros da equação ^(1,2,3,4) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável perda de rendimento de grãos (kg ha^{-1}) por fitotoxicidade e plantas daninhas e pelo efeito isolado das plantas daninhas e da fitotoxicidade.	105
Tabela 20 - Parâmetros das equações ^(1,3) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável tolerância relativa (% relativa à testemunha) das cultivares de feijão no experimento sem (SPD) e com plantas daninhas (CPD) aos 14 e 28 DAA.	111
Tabela 21 - Parâmetros das equações ^(1,2,4) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável densidade de plantas de feijão (plantas m^{-2}) no experimento sem plantas daninhas (SPD) e com plantas daninhas (CPD).	112
Tabela 22 - Parâmetros das equações ^(1,3) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável matéria seca da parte aérea (MSPA) do feijão (% relativa à testemunha) no experimento sem (SPD) e com plantas daninhas (CPD).	114
Tabela 23 - Parâmetros das equações ^(1,2) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis controle geral (%) e densidade das plantas daninhas (plantas m^{-2}) aos 21 e 28 DAA.	117
Tabela 24 - Parâmetros das equações ^(1,2,3) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis controle de <i>Euphorbia heterophylla</i> (%) aos 21 e 28 DAA e densidade aos 21 e 28 DAA considerando a interação tripla.	119
Tabela 25 - Parâmetros da equação ⁽²⁾ , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis controle de <i>Bidens pilosa</i> (%) aos 21 e 28 DAA para a interação tripla.	121
Tabela 26 - Parâmetros da equação ⁽¹⁾ , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável densidade de <i>Bidens pilosa</i> (plantas m^{-2}) aos 21 e 28 DAA.	123
Tabela 27 - Parâmetros das equações ^(1,2) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável controle (%) de <i>Sida rhombifolia</i> aos 21 e 28 DAA.	125
Tabela 28 - Parâmetros da equação ⁽²⁾ , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis controle de <i>Ipomoea grandifolia</i> (%) aos 21 e 28 DAA.	126
Tabela 29 - Parâmetros das equações ^(1,3) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis densidade de <i>Ipomoea grandifolia</i> aos 21 e 28 DAA.	128
Tabela 30 - Parâmetros das equações ⁽²⁾ , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável controle (%) de <i>Amaranthus retroflexus</i> aos 21 e 28 DAA.	129
Tabela 31 - Parâmetros das equações ^(2,3) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável número de vagens por planta (NVP) no experimento sem (SPD) e com plantas daninhas (CPD).	132
Tabela 32 - Parâmetros das equações ^(2,4) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável rendimento de grãos (kg ha^{-1}) sob influência da fitotoxicidade e fitotoxicidade e plantas daninhas.	134
Tabela 33 - Parâmetros da equação ^(1,2,3,4) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável perda de rendimento de grãos (kg ha^{-1}) por fitotoxicidade e plantas daninhas, plantas daninhas e fitotoxicidade.	137
Tabela 34 - Parâmetros da equação ^(1,4) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável altura de planta (% relativa à testemunha) aos 14 e 21 DAA de sulfentrazone.	154
Tabela 35 - Parâmetros da equação ⁽¹⁾ , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável tolerância relativa (% relativa à testemunha) aos 14 e 21 DAA de sulfentrazone.	157
Tabela 36 - Parâmetros das equações ^(1,5) , coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis matéria verde da parte aérea (MVPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA) aos 21 DAA de sulfentrazone.	160

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

BASF	<i>Badische Anilin Und Soda-Fabrik</i>
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
PR	Unidade de Federação – Paraná
UNISEP	União de Ensino do Sudoeste do Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE ABREVIATURAS

Al	Alumínio
ALS	Acetolactato sintase
Ca	Cálcio
cm	Centímetro
CO ₂	Gás carbônico
CTC	Capacidade de troca de cátions
DAA	Dias após aplicação
DNA	Ácido desoxirribonucleico
D ₅₀	Dose necessária para reduzir em 50% a variável
g ha ⁻¹	Gramas por hectare
GBS	Genotyping-by-sequencing
GST	Glutathione-S-transferase
H	Hidrogênio
ha	Hectares
K ₂ O	Teor de potássio
L	Litro
L ha ⁻¹	Litros por hectare
m	Metro
Mg	Magnésio
MO	Matéria orgânica
MSPA	Matéria seca
MVPA	Matéria verde
P	Probabilidade
P ₂ O ₅	Teor de fósforo
PCR	Reação em cadeia da polimerase
pH	Potencial hidrogênioônico
Protox	Protoporfirinogênio oxidase
RNA	Ácido ribonucleico
SNPs	Single nucleotide polymorphism
SSR	Sequências Simples Repetidas (Microsatélite)
TS	Tratamento de sementes
v/v	Volume/volume

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
>	Maior que
<	Menor que
=	Igual
°C	Graus Célsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	22
1.1 OBJETIVOS	25
1.1.1 Objetivo Geral	25
1.1.2 Objetivos Específicos	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA, SOCIAL E PRODUTIVA DO FEIJÃO	27
2.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E BOTÂNICAS DO FEIJÃO.....	28
2.3 CARACTERÍSTICAS DOS HERBICIDAS INIBIDORES DA ENZIMA PROTOX .	29
2.3.1 Herbicida Saflufenacil.....	31
2.3.2 Herbicida Sulfentrazone	32
2.4 TOLERÂNCIA DE CULTURAS AOS HERBICIDAS INIBIDORES DA ENZIMA PROTOX.....	33
2.4.1 Metabolização de herbicidas	35
2.4.2 Safeners	39
2.4.3 Inibidores de enzimas metabolizadoras	40
3 MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1 ENSAIOS PRELIMINARES COM O HERBICIDA SAFLUFENACIL.....	42
3.1.1 Ensaio em Pré-emergência.....	43
3.1.1.1 Análise estatística	44
3.1.2 Ensaio em Pós-emergência	44
3.1.3.1 Análise estatística	44
3.2 <i>SCREENING</i> DE CULTIVARES DE FEIJÃO PARA A TOLERÂNCIA AO SAFLUFENACIL EM PRÉ-EMERGÊNCIA.....	45
3.2.1 Análise Estatística	45
3.3 TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE FEIJÃO A INIBIDORES DA PROTOX EM PRÉ-EMERGÊNCIA.....	46
3.3.1 Análise Estatística	46
3.4 SELETIVIDADE DE DOSES CRESCENTES DE SAFLUFENACIL E SULFENTRAZONE PARA CULTIVARES DE FEIJÃO E EFICÁCIA NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DO FEIJÃO	47
3.4.1 Análise Estatística	51
3.5 AVALIAÇÃO DA DETOXIFICAÇÃO DO HERBICIDA SAFLUFENACIL E SULFENTRAZONE COM USO DE INIBIDORES E PROTETORES DE METABOLIZAÇÃO.....	51

3.5.1 Ensaio Preliminar da Metabolização	52
3.5.1.1 Análise estatística	53
3.5.2 Ensaio Definitivo da Metabolização.....	53
3.5.2.1 Análise estatística	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1 ENSAIOS PRELIMINARES COM O HERBICIDA SAFLUFENACIL.....	56
4.1.1 Resposta ao saflufenacil em pré-emergência	56
4.1.2 Resposta ao saflufenacil em pós-emergência.....	58
4.2 <i>SCREENING</i> DE CULTIVARES DE FEIJÃO PARA A TOLERÂNCIA AO SAFLUFENACIL EM PRÉ-EMERGÊNCIA.....	62
4.3 TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE FEIJÃO A INIBIDORES DA PROTOX EM PRÉ-EMERGÊNCIA.....	64
4.4 SELETIVIDADE DE DOSES CRESCENTES DE SAFLUFENACIL E SULFENTRAZONE SOBRE CULTIVARES DE FEIJÃO E EFICÁCIA NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS.....	74
4.4.1 Experimentos conduzidos em Pato Branco.....	74
4.4.1.1 Seletividade às cultivares de feijão	74
4.4.1.2 Controle de plantas daninhas.....	80
4.4.1.3 Rendimento e componentes.....	99
4.4.2 Experimentos conduzidos em Verê	108
4.4.2.1 Seletividade às cultivares de feijão	109
4.4.2.2 Controle de plantas daninhas.....	115
4.4.2.3 Rendimento e componentes.....	130
4.5 AVALIAÇÃO DA DETOXIFICAÇÃO DOS HERBICIDAS SAFLUFENACIL E SULFENTRAZONE COM USO DE INIBIDORES E PROTETORES DE METABOLIZAÇÃO.....	139
4.5.1 Ensaio Preliminar da Metabolização	140
4.5.1.1 Ensaio com inibidores da metabolização	140
4.5.1.2 Ensaio com protetores (estimuladores) da metabolização	146
4.5.2 Ensaio Definitivo da Metabolização.....	152
5 CONCLUSÕES.....	162
CONSIDERAÇÕES FINAIS	164
REFERÊNCIAS.....	166

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é de grande importância econômica e social no Brasil, por ser responsável pelo provimento de proteína, carboidratos e outros nutrientes. O feijão é cultivado por produtores em diversos sistemas de produção, sendo que aproximadamente 70% da produção é proveniente da agricultura familiar (HOFFMANN, 2014).

Quase a totalidade do feijão produzido no Brasil é destinada para atender a demanda interna do produto e uma pequena parcela da produção vai para a exportação (CONAB, 2017). O país não é autossuficiente na produção dessa leguminosa, necessitando a importação de 150 mil toneladas para suprir a necessidade de consumo (CONAB, 2017; MAPA, 2017a), que atualmente é de 17,8 kg habitante⁻¹ ano⁻¹ (EMBRAPA, 2017).

A produção nacional de feijão é limitada pelas baixas produtividades alcançadas, em média de 1069 kg ha⁻¹ obtidos no ano agrícola de 2016/17 (CONAB, 2018a). Entre os vários fatores que contribuem para este cenário produtivo podem ser citados o baixo nível tecnológico empregado por pequenos produtores, época de plantio inadequada, instabilidade das condições climáticas, doenças, pragas e plantas daninhas.

As plantas daninhas competem com espécies cultivadas por luz, água, nutrientes e espaço, afetando significativamente o seu desenvolvimento e proporcionando redução na produtividade de grãos. O manejo químico com o emprego de herbicidas representa o principal meio utilizado para o controle das plantas daninhas. A seletividade dos herbicidas às culturas e a eficiência de controle de plantas daninhas proporcionada pelos mesmos são a base para o sucesso do controle químico.

Entretanto, existem poucos herbicidas registrados para o controle de plantas daninhas na cultura do feijão. Contribui para isto a sua elevada sensibilidade aos herbicidas e poucos recursos investidos em pesquisa e desenvolvimento desta cultura no Brasil, comparativamente, por exemplo, com a cultura da soja, o que se reflete também no desenvolvimento de estratégias de manejos das plantas daninhas.

A busca por genótipos com maior tolerância aos herbicidas recomendados para a cultura do feijão é fundamental para garantir uma maior segurança nas aplicações. Atualmente, pesquisas direcionadas ao desenvolvimento de genótipos resistentes aos herbicidas apresentam foco nas culturas da soja e do milho, principalmente para inibidores da EPSPs, ALS, glutamina sintetase e mimetizadores de auxina. Para outras culturas importantes no sistema de produção brasileiro, os estudos referentes à tolerância aos herbicidas são escassos. Dessa forma, maior gama de estudos sobre a seletividade de herbicidas para a cultura do feijão é fundamental para ampliar a possibilidade de serem empregados no controle das plantas daninhas.

Contudo, a eficiência de herbicidas inibidores da Protox é limitada por vários fatores. Dentre os quais é possível destacar: (a) translocação limitada nas plantas, com eficiência de controle apenas nas aplicações em estágios de desenvolvimento precoce e com adequada cobertura foliar; (b) espectro de controle sobretudo sobre as espécies daninhas de folhas largas (plantas da classe Magnoliopsidae), necessitando de mistura com herbicidas graminicidas para complementar a ação em áreas infestadas com espécies daninhas poáceas.

Os herbicidas bentazon (Basagran® 600) (inibidor do FSII) e imazamox (Raptor 70 DG) (inibidor da ALS) são opções para controle de plantas daninhas em pós-emergência na cultura do feijão. No entanto, bentazon não controla *Euphorbia heterophylla*, importante espécie daninha nas áreas de feijão. E imazamox pode apresentar elevada toxicidade para o feijão (COBUCCI; MACHADO, 1999). A associação formulada de bentazon+imazamox (Amplo®) preenche de certa forma as limitações dos dois produtos aplicados isoladamente (COBUCCI; MACHADO, 1999). Porém, o espectro de ação desta associação é limitado sobre plantas daninhas dicotiledôneas, com pouca ou nenhuma ação graminicida. O herbicida s-metolachlor (Dual Gold®) apresenta ação sobre folhas largas e folhas estreitas em aplicação na pré-emergência das plantas daninhas e do feijão, com recomendação apenas para as cultivares de feijão carioquinha, IAPAR 44, IAPAR-14, Minuano e Itaporé (SYNGENTA, 2018).

O herbicida holossulfurom-metílico (Sempra) (inibidor da ALS) apresenta recomendação para o controle apenas de soja voluntária na pós-

emergência do feijão. Em 2017, o herbicida ethoxysulfuron (Gladium®) foi registrado para o controle de soja voluntária em pós-emergência na cultura do feijão, entretanto, este não está registrado para o controle de plantas daninhas.

Na modalidade pré-plantio incorporado (PPI), os herbicidas registrados são o pendimethalin (Herbadox® 400 EC) e trifluralin (inibidores da polimerização de microtubulos), que controlam gramíneas e algumas folhas largas.

Os herbicidas inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase (Protox) possuem recomendação para controle de plantas daninhas em várias espécies cultivadas, nas modalidades de pré e pós-emergência, conferindo controle principalmente de espécies dicotiledôneas. Embora alguns herbicidas, como é o caso do sulfentrazone (Boral®) também exerçam controle sobre monocotiledôneas em aplicações de pré-emergência. Desse mecanismo de ação, apenas os herbicidas fomesafen (Flex®) e flumioxazin (Sumisoya®) apresentam registro para o manejo das plantas daninhas no feijão. O herbicida fomesafen é amplamente utilizado, aplicado em pós-emergência tanto das plantas daninhas quanto da cultura. O herbicida flumioxazin apresenta registro para amplo espectro de plantas daninhas, especialmente dicotiledôneas, na modalidade de pré-semeadura (dessecação).

O herbicida flumioxazin é registrado em pré-semeadura (dessecação), com controle principalmente sobre folhas largas e com baixa eficiência sobre infestações de *Euphorbia heterophylla*, *Bidens pilosa* e *Ipomoea grandifolia* (MAPA, 2018), importantes espécies daninhas presentes em lavouras de feijão. Os herbicidas saflufenacil e sulfentrazone apresentam potencial para utilização em pré-emergência da cultura do feijão. Trabalhos científicos demonstraram a existência de variabilidade genética de cultivares de feijão quanto à tolerância ao herbicida saflufenacil, inibidor da Protox (DIESEL et al., 2014). A tolerância de diferentes grupos de feijão ao sulfentrazone foi estudada por Hekmat et al. (2007) e ao saflufenacil no Canadá (SOLTANI; SHROPSHIRE; SIKKEMA, 2010). No entanto, A seletividade desses herbicidas para cultivares utilizadas no Brasil ainda não foi estudada.

Considerando as limitações para o lançamento de novos compostos químicos para o controle das plantas daninhas na cultura do feijão e a existência de poucos herbicidas registrados no Brasil, é de grande importância o desenvolvimento

de estudos com diferentes genótipos de feijão visando a identificação dos mais tolerantes ao herbicida saflufenacil e também a outros herbicidas inibidores da Protox. Além disso, o mecanismo de tolerância deve ser estudado de forma detalhada sob aspectos bioquímicos, genéticos e moleculares.

A identificação de genótipos tolerantes aos herbicidas inibidores da Protox e a ampliação dos conhecimentos acerca da tolerância possibilita a inserção destes genótipos em programas de melhoramento para transferência dessa característica para cultivares agronomicamente superiores, contribuindo dessa forma para o aumento dos índices de produtividades da cultura do feijão no Brasil.

Neste contexto, hipotetiza-se que: a tolerância do feijão ao herbicida saflufenacil na modalidade de pré-emergência se manifeste em níveis mais elevados do que em pós-emergência; Em pré-emergência ocorrem níveis diferenciados de tolerância entre cultivares ao saflufenacil; Uma mesma cultivar apresenta níveis diferenciados de tolerância aos herbicidas de diferentes grupos químicos inibidores da Protox; O efeito de doses em ensaios de casa de vegetação se mantém a campo onde o controle das plantas daninhas é mais importante do que a fitotoxicidade gerada pelos herbicidas; O mecanismo de tolerância do feijão aos inibidores da Protox envolve o processo de metabolização da molécula herbicida.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Investigar a tolerância de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) aos herbicidas inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Selecionar cultivares tolerantes ao saflufenacil por meio de aplicações em pré e em pós-emergência das plantas, identificando qual modalidade de aplicação permite o processo de seleção mais eficiente;

- Determinar a variabilidade de tolerância de número expressivo de cultivares de feijão ao saflufenacil, por meio de dose discriminadora;
- Identificar a existência de tolerância cruzada de saflufenacil e sulfentrazone entre si e entre estes herbicidas e outros inibidores da Protox;
- Identificar doses de saflufenacil e sulfentrazone que proporcionem controle eficiente de espécies infestantes e apresentam seletividade para a cultura do feijão;
- Determinar se a metabolização de herbicidas está envolvida na manifestação da tolerância de cultivares de feijão aos inibidores da Protox;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA, SOCIAL E PRODUTIVA DO FEIJÃO

O *P. vulgaris* é a espécie deste gênero mais consumida e produzida no mundo (STÄHELIN et al., 2010). A cultura do feijão é de grande importância pelos seus aspectos econômicos, social e cultural. Esta leguminosa faz parte da dieta nutricional dos brasileiros no provimento de proteínas, ferro, lipídeos, magnésio, potássio e carboidratos (LOVATO et al., 2018). Segundo o guia alimentar para a população brasileira do Ministério da Saúde, é recomendada a ingestão diária de feijão e arroz na proporção 1:2 (BRASIL, 2008). Além disso, o feijão representa uma importante fonte de proteína da população com baixo poder aquisitivo e com carência na ingestão de proteínas de origem animal.

A cultura do feijão ocupa lugar de destaque na agricultura brasileira tanto em área plantada como em volume de produção (CONAB, 2018b). A área plantada de aproximadamente 3,2 milhões de hectares é superada apenas pelas culturas anuais da soja e do milho e a produção de 3,4 milhões de toneladas é superada pelas culturas da soja, milho, arroz e trigo (CONAB, 2018b). A sua ampla adaptação edafoclimática permite seu cultivo durante todo o ano em quase todos os estados brasileiros, nas diferentes épocas e safras (CONAB, 2018a), sendo cultivado por pequenos produtores com baixo investimento em tecnologias e grandes produtores com alto investimento tecnológico (MAPA, 2016).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial, com aproximadamente 2,6 milhões de toneladas de feijão, ficando atrás apenas de Myanmar e Índia, com aproximadamente 5,2 e 3,9 milhões de toneladas, respectivamente (FAO, 2018). Entre os estados com maior representatividade na produção de feijão destacam-se o Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás, Bahia, São Paulo Santa Catarina, Ceará e Rio Grande do Sul, respectivamente, com produção de 710, 535, 414, 343, 300, 262, 137, 119 e 95 mil toneladas, no total das três safras do ano agrícola de 2016/2017, resultando em produtividade média brasileira de 1069 kg ha⁻¹ (CONAB, 2018a).

O estado do Paraná registrou uma área plantada de 447 mil hectares na safra 2016/2017 (aproximadamente 16% da área plantada no Brasil), respondendo por 710 mil toneladas de feijão (aproximadamente 27% da produção brasileira), resultando em produtividade média de 1588 kg ha⁻¹, que o coloca entre os estados com maior produtividade nesta cultura (CONAB, 2018a).

2.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E BOTÂNICAS DO FEIJÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma planta da família Fabaceae, autógama, originária das Américas (KUREK et al., 2001), com número diploide de cromossomos igual a 22 ($2n = 22$) (RAMALHO; SANTOS, 1992). A maioria das cultivares são insensíveis ao fotoperiodismo (RAMALHO; SANTOS, 1992), as plantas possuem ciclo anual, sistema radicular pivotante, típico de dicotiledôneas (SANTOS; GAVILANES, 2006) e o caule herbáceo que é formado por uma sessão de nós e entrenós, onde estão inseridos, no primeiro nó os cotilédones, no segundo as folhas primárias (simples e opostas) e a partir do terceiro, as folhas trifoliadas (SILVA; COSTA, 2003).

As plantas podem apresentar hábito de crescimento arbustivo determinado tipo I, arbustivo indeterminado tipo II, prostrado indeterminado tipo III e trepador indeterminado tipo IV e, quanto ao porte da planta, pode ser ereto, semi-ereto e prostrado (SILVA, 2005).

As flores apresentam-se de forma isolada ou normalmente em ráceros terminais, com a corola constituída de cinco pétalas brancas, rosadas ou violáceas, dependendo da cultivar. A maioria das pétalas é denominada de estandarte, as médias recebem a denominação de asas e as duas menores são isoladas formando a quilha que é enroscada em espiral. O gineceu com ovário súpero, comprido, unicarpelar, estilete encurvado e estigma lateral. O androceu é formado de dez estames diadelfos, nove aderentes pelo filete e um livre. A deiscência das anteras ocorre aproximadamente no momento da abertura da flor (SANTOS; GAVILANES, 2006). Por este motivo as hibridações são realizadas antecedendo à abertura do botão floral.

Os ráceros apresentam de duas a seis flores e são compostos por um pedúnculo, ou pequena haste responsável pela sustentação dos botões florais, formando uma inflorescência (SANTOS; GAVILANES, 2006).

2.3 CARACTERÍSTICAS DOS HERBICIDAS INIBIDORES DA ENZIMA PROTOX

Os herbicidas pertencentes ao mecanismo de ação dos inibidores da Protox atuam inibindo a atividade da enzima protoporfirinogênio oxidase (VIDAL; MEROTTO, 2001), responsável pela conversão de protoporfirinogênio-IX em protoporfirina-IX no cloroplasto (CARVALHO; OVEJERO, 2008) para a síntese de citocromos e clorofila (LI; NICHOLL, 2005; POWLES; YU, 2010; HAO et al., 2011a; HAO et al., 2017). Na presença do herbicida, ocorre a inibição competitiva da Protox (CAMADRO et al., 1991; TREZZI; NUNES; PORTES, 2009), em que o herbicida e o substrato (protoporfirinogênio-IX) competem pelo sítio de ligação da enzima Protox. Assim, a maior afinidade do herbicida com a enzima do que com o substrato resulta no acúmulo de protoporfirinogênio-IX no cloroplasto (TREZZI; NUNES; PORTES, 2009), que se desloca para o citoplasma. No citoplasma, esse composto é convertido em protoporfirina-IX, que ao entrar em contato com o oxigênio na presença de luz gera radicais livres capazes de promover a peroxidação dos lipídios (CARVALHO; OVEJERO, 2008; GROSSMANN et al., 2011; HAO et al., 2011b). Isso resulta na perda rápida de integridade e função da membrana plasmática, branqueamento dos cloroplastos, necrose, inibição do crescimento e a morte da planta (GROSSMANN et al., 2011).

No mundo, oito grupos químicos de herbicidas inibidores da enzima Protox possuem registro para o controle de plantas daninhas: difeniléteres, fenilpirazol, ftalamidas, tiadiazoles, oxadiazoles, triazolinonas, oxazolidinedionas e pirimidinedionas (HRAC, 2018). No Brasil, apenas cinco destes possuem registro: difeniléteres, ftalamidas, oxadiazoles, triazolinonas e pirimidinadionas (OLIVEIRA JR, 2011).

A maioria desses herbicidas possui recomendação para aplicação em pós-emergência, contudo alguns são também utilizados em pré-emergência (CARVALHO; OVEJERO, 2008; CARVALHO; GONÇALVES NETO, 2016). São

amplamente empregados no controle de plantas daninhas dicotiledôneas e algumas gramíneas (CARVALHO; GONÇALVES NETO, 2016), sendo que a ação gramínica é específica para alguns herbicidas e apenas para aplicações em pré-emergência (MEROTTO JR; VIDAL, 2001). Na pré-emergência os sintomas se manifestam durante a emergência das plântulas (RIZZARDI et al., 2008).

São amplamente utilizados devido à sua elevada eficiência mesmo em baixas doses, baixa toxicidade a mamíferos, rápida ação sobre as plantas daninhas, possibilidade de efeito residual, serem rapidamente degradados no ambiente e possuírem amplo espectro de controle (SCALLA; MATRINGE, 1994; CARVALHO; GONÇALVES NETO, 2016). Além disso, são indicados para prevenir o surgimento de resistência a outros mecanismos de ação (VIDAL; MEROTTO; FLECK, 1999) e o controle de espécies daninhas com resistência a outros mecanismos de ação (SOLTANI; SHROPSHIRE; SIKKEMA, 2010).

Podem ser absorvidos pelas raízes, caules ou folhas (OLIVEIRA JR, 2011; CARVALHO; GONÇALVES NETO, 2016), possuindo baixa ou até mesmo nenhuma translocação, exigindo aplicação com boa cobertura foliar (RIZZARDI et al., 2008), obtendo maior eficácia de controle em aplicações efetuadas em estágios iniciais de desenvolvimento das plantas (CARVALHO; OVEJERO, 2008; CARVALHO; GONÇALVES NETO, 2016).

A degradação microbiana é o principal mecanismo de dissipação ou inativação destes herbicidas no solo (OHMES; HAYES; MUELLER, 2000; MEROTTO JR; VIDAL, 2001; MARTINEZ et al., 2008), devido à alta afinidade dos microrganismos em utilizar as moléculas do herbicida como fonte de energia (MEROTTO JR; VIDAL, 2001).

A adsorção é um processo importante que regula a dinâmica dos herbicidas inibidores da Protox aplicados no solo (MEROTTO JR; VIDAL, 2001; RODRIGUES; ALMEIDA, 2005), determinando o armazenamento e a liberação gradual na camada superficial do solo, o que possibilita a ação pré-emergente (TORRES; FERNADEZ-QUINTANILLA, 1991).

A mobilidade destes herbicidas é limitada principalmente pela forte adsorção ou degradação microbiana, o que evita sua permanência na solução do solo, não ficando livre para ser carregado junto com o fluxo de água (MEROTTO JR;

VIDAL, 2001). No entanto, em condições de elevada umidade no solo, a quantidade dessorvida dos herbicidas aumenta, podendo ocasionar alta absorção pela cultura e alta fitotoxicidade (MEROTTO JR; VIDAL, 2001).

2.3.1 Herbicida Saflufenacil

O herbicida saflufenacil é um inibidor da enzima Protoplastina pertencente ao grupo químico das pirimidinadionas (SOLTANI; SHROPSHIRE; SIKKEMA, 2010). É o mais recente herbicida lançado deste mecanismo de ação, sendo registrado com a marca global Kixor™ e no Brasil como Heat® (BASF, 2018a).

Este herbicida controla plantas daninhas de folhas largas em aplicações de pré ou pós-emergência, além de ser recomendado para dessecação das culturas da soja, algodão, feijão, batata e girassol na modalidade pré-colheita, para antecipar ou homogeneizar as plantas que serão colhidas (GROSSMANN et al., 2011). É aplicado em baixas doses, com baixo impacto ambiental, toxicológico, ecotoxicológico por apresentar mínimo transporte residual e não persistir no solo (SOLTANI et al., 2010). Em pré-emergência apresenta ação residual (DIESEL, 2013; FEIJÓ, 2016).

Diferente dos demais herbicidas inibidores da Protoplastina que possuem translocação limitada via floema, o saflufenacil apresenta translocação tanto acrópeta (via xilema no sentido raiz-folha) quanto basípeta (via floema no sentido folha-raiz) (GROSSMANN et al., 2011).

O saflufenacil possui constante de equilíbrio de ionização (pK_a) de 4,41 sendo considerado um ácido moderado, possui alta solubilidade em água que varia com o pH do solo entre 25 mg L⁻¹ (pH 5,0) e 2100 mg L⁻¹ (pH 7,0). Sua pressão de vapor de 2x10⁻¹⁴ (Pa) a 25 °C indica baixa volatilidade e sua constante de adsorção ao carbono orgânico (K_{oc}) que pode variar entre 9 e 56 mg L⁻¹, portanto pode apresentar desde baixa até alta adsorção (BASF, 2018a). A persistência de saflufenacil no solo é considerada baixa, com tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) variando entre 7 a 35 dias (MONQUERO et al., 2012). É um ácido moderado e portanto, quando aplicado em solo com pH superior ao seu pK_a (4,41), se dissocia e uma maior porcentagem de herbicida estará na forma iônica, havendo maior atividade

herbicida. Sendo assim, em condições de alta umidade do solo, a dissipação das moléculas do herbicida ocorrer mais rapidamente.

A seletividade de saflufenacil quando aplicado no solo em pré-emergência, é por posicionamento físico em relação às estruturas emergentes das plantas (BASF, 2018b). No milho, saflufenacil é rapidamente metabolizado (BASF, 2018b).

Na cultura do feijão, este herbicida é recomendado na dessecação da cultura ou de plantas daninhas na pré-colheita (BASF, 2018b). Ao se efetuar o manejo de plantas daninhas em pré-semeadura, deve-se obedecer intervalo mínimo de 20 dias entre a aplicação de saflufenacil e a semeadura da cultura do feijão (AGROFIT, 2016).

2.3.2 Herbicida Sulfentrazone

O herbicida sulfentrazone é um inibidor da enzima Protoplasto amplamente utilizado no Brasil, pertencente ao grupo químico das triazolinonas (FREITAS et al., 2014). Este herbicida é recomendado para o controle de várias espécies daninhas de folhas largas e gramíneas em aplicações em pré-emergência, tanto das plantas daninhas quanto das culturas da soja, cana de açúcar, citros, fumo, café e em pós-plantio da cultura do abacaxi (FMC, 2017).

A sua mobilidade no solo é considerada moderada, com K_{oc} de 43 mg L⁻¹ e sua adsorção é baixa (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005). Sulfentrazone comporta-se como um ácido fraco (TOMLIN, 2011; FREITAS et al., 2014), com pKa de 6,56, que confere baixa dissociação em água (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005; TOMLIN, 2011). Seu coeficiente de distribuição octanol-água (K_{ow}) de 1,48 indica que a molécula apresenta característica hidrofílica e sua solubilidade em água aumenta conforme o aumento do pH do solo, variando entre 110 mg L⁻¹ (pH 6,0) e 1.600 mg L⁻¹ (pH 7,5) (FMC corp., 1995). Em pH do solo superior ao seu pKa (6,6), se dissocia e uma maior porcentagem do herbicida estará na forma iônica, havendo maior atividade herbicida. Sua pressão de vapor de 1×10^{-9} (mm Hg, 25 °C) é considerada baixa, portanto, apresenta baixa volatilidade (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005).

O herbicida sulfentrazone apresenta elevada persistência no solo (VIVIAN et al., 2006). Estima-se que a meia vida ($t_{1/2}$) no solo seja variável entre 110 e 280 dias, dependendo das condições do solo e do clima (FMC, 1995), podendo chegar até 539 dias (BLANCO; VELINI, 2005), e a principal via de degradação no solo seja a atividade microbiológica (VIVIAN et al., 2006). A tolerância ao herbicida sulfentrazone pode ser variável para cada cultivar dentro da mesma espécie (CONCENÇO et al., 2007).

2.4 TOLERÂNCIA DE CULTURAS AOS HERBICIDAS INIBIDORES DA ENZIMA PROTOX

A seletividade aos herbicidas permite o controle eficiente das plantas daninhas nas culturas (HARTWING et al., 2008), representando a base para o sucesso do controle químico (OLIVEIRA JR; INOUE, 2011). É medida pelo nível diferencial de tolerância das culturas e das plantas daninhas a um tratamento químico, em que, quanto maior a dose tolerada pela cultura e menor a dose necessária para o controle das plantas daninhas, maior será a seletividade e maior a segurança da aplicação (OLIVEIRA JR; INOUE, 2011).

A seletividade aos herbicidas pode ser determinada por fatores relacionados às características do herbicida ou ao método de aplicação (dose, formulação, localização espacial ou temporal do herbicida em relação à planta cultivada) e fatores relacionados às características das plantas (retenção, absorção, translocação, metabolização diferencial, dissipação de formas reativas de oxigênio reativo) (OLIVEIRA JR; INOUE, 2011; XAVIER, 2014).

Em se tratando de herbicidas inibidores da Protoporphyrin Oxidase (Protox), a seletividade em espécies tolerantes pode ocorrer por meio de vários mecanismos, como metabolização ou desintoxicação do herbicida pelas plantas (TREZZI; NUNES; PORTES, 2009), absorção e translocação mínimas, sequestro do herbicida, concentração aumentada da enzima Protox mitocondrial (WARABI et al., 2001) ou aumento da atividade de enzimas antioxidantes (XAVIER, 2014) e mecanismos que evitam o acúmulo de protoporfirina IX (MATSUMOTO; KASHIMOTO; WARABI, 1999). A absorção dos herbicidas inibidores da Protox é variável entre espécies de

plantas, contudo a translocação é limitada (VANSTONE; STOBBE, 1978; RITTER; COBLE, 1981; HIGGINS et al., 1998; UNLAND; AL-KHATIB; PETERSON, 1999). São poucos seletivos quando atingem as folhas, entretanto, algumas culturas tem a capacidade de recuperar a área foliar afetada (OLIVEIRA JR, 2011).

A tolerância ao fluorodifen em amendoim (*Arachis hypogaea* L. var. Starr) é conferida pela mínima translocação, associada à rápida metabolização (EASTIN, 1971) e em ervilha (*Pisum sativum* L.) é devida a alta concentração da enzima glutationa-S-transferase, que aumenta a conjugação do herbicida (FREAR; SWANSON, 1973). Na cultura do milho a seletividade de saflufenacil em pré-emergência é conferida pelo posicionamento físico e tolerância natural do milho (LIEBL et al., 2008).

A tolerância ao sulfentrazone em soja é atribuída à rápida metabolização do herbicida (DAYAN et al., 1997) e ao acifluorfen na mesma cultura é devido à menor absorção e translocação e rápida metabolização (RITTER; COBLE, 1981). A tolerância ao flumiclorac em plantas de soja é atribuída à reduzida absorção e translocação e rápida detoxificação do herbicida e em milho é explicada pela reduzida retenção foliar e a elevada metabolização (FAUSEY; RENNER, 2000).

Características morfológicas e fisiológicas das plantas podem conferir seletividade a herbicidas (OLIVEIRA Jr; INOUE, 2011). Na parte aérea das plantas, características morfológicas da superfície foliar (tricomas, placas de cera) e a cutícula são consideradas as principais barreiras para a absorção dos herbicidas (VIDAL, 2002). Na absorção via solo, estruturas anatômicas das partes aéreas emergentes, bem como diferenças na endoderme são consideradas importantes barreiras para a absorção e translocação de herbicidas (VIDAL, 2002).

A resistência de linhagens de soja ao herbicida oxyfluorfen é devido ao aumento da concentração da enzima Protox nas mitocôndrias em células de soja (WARABI et al., 2001). Em arroz transgênico, a super expressão de genes responsáveis pela geração da enzima Protox, proveniente da bactéria *Myxococcus xanthus*, confere resistência aos inibidores da Protox (JUNG; KUK, 2007). Diferenças de germinação de cultivares de soja, com alta e baixa sensibilidade à sulfentrazone, foram atribuídas à absorção diferencial do herbicida desde a embebição e emergência das plântulas (LI; WEHTJE; WALKER, 2000).

2.4.1 Metabolização de herbicidas

O mecanismo mais importante de tolerância de plantas cultivadas aos herbicidas inibidores da Protox é a metabolização (MARCHI; MARCHI; GUIMARÃES, 2008; MEROTTO JR; VIDAL, 2001; KISSMANN, 2014). Este mecanismo limita a chegada da dose letal ao local de ação do herbicida (DALAZEN et al., 2016a). A seletividade dos herbicidas para a cultura do feijão em aplicações de pós-emergência é fisiológica, por mecanismos de degradação que evitam injúrias às plantas (VICTORIA FILHO, 1994).

A metabolização ou desintoxicação do herbicida nas plantas ocorre principalmente por meio da ação de enzimas monooxigenases do grupo das citocromo 450 monooxigenases (P_{450}) e glutathione-S-transferase (GST), responsáveis por reações de oxidação e conjugação do herbicida, respectivamente (VIDAL, 2002; POWLES; YU, 2010; YU; POWLES, 2014a). Neste caso, uma planta resistente decompõe ou metaboliza a molécula do herbicida mais rapidamente do que uma planta sensível, deixando-a inativa (VARGAS; FLECK, 1999). A magnitude da metabolização neste mecanismo de resistência/tolerância é variável, dependendo da espécie, estágio de desenvolvimento da planta e do ambiente (TREZZI; NUNES; PORTES, 2009), por isso o nível de metabolização é dependente do nível de expressão gênica destas enzimas.

O processo da metabolização de herbicidas e de outros xenobióticos nas plantas ocorre por meio da ação sequencial de várias enzimas (RIECHERS; KREUZ; ZHANG, 2010). A metabolização/detoxificação de herbicidas nas plantas ocorre em quatro diferentes fases: (I) oxidação (realizada pela atividade de enzimas monooxigenases do citocromo P_{450}); (II) conjugação (reação de conjugação de açúcares realizada por enzimas glicosil transferases (GTs) ou conjugação de glutathione (GSH) realizada por enzimas GSTs); (III) transporte para o vacúolo (via transportadores ABC) e compartimentalização no vacúolo e (IV) incorporação na parede celular (YU; POWLES, 2014a; DALAZEN, 2016b).

As enzimas P_{450} , GTs e GSTs fazem parte de uma superfamília de enzimas com vários papéis no metabolismo primário e secundário, incluindo a capacidade de detoxificação de herbicidas (KREUZ; TOMMASINI; MARTINOIA, 1996; COLE; EDWARDS, 2000; EDWARDS; DIXON, 2000). O papel das enzimas

P₄₅₀ na conversão de herbicidas é a hidroxilação ou desalquilação (POWLES; YU, 2010). Dessa forma, as P₄₅₀ metabolizam herbicidas a produtos menos fitotóxicos ou sem atividade fitotóxica (KREUZ; TOMMASINI; MARTINOIA, 1996; YU; POWLES, 2014a).

As enzimas responsáveis pela resistência metabólica (P₄₅₀, GTs e GSTs) geralmente conferem resistência aos herbicidas de diferentes grupos químicos e locais de ação (HALL; HOLTUM; POWLES, 1994; YU; POWLES, 2014a), ou seja, conferem resistência cruzada aos herbicidas (HALL; HOLTUM; POWLES, 1994). A resistência cruzada em plantas daninhas pode ser conferida pela capacidade das enzimas P₄₅₀, GTs e GSTs de metabolizarem herbicidas independentemente dos locais de ação hereditários e por isso também podem conferir automaticamente resistência a herbicidas já existentes, novos ou que ainda nem foram desenvolvidos (PETIT et al., 2010; YU; POWLES, 2014a).

Muitas espécies daninhas possuem um nível basal de metabolização de herbicidas (YASUOR et al., 2009; AHMAD-HAMDANI et al., 2013; MA et al., 2013) e a variabilidade genética entre indivíduos dentro de uma população proporciona variação nesta capacidade endógena basal de metabolização, onde alguns indivíduos poderão apresentar grande capacidade de metabolização (YU, POWLES, 2014a). Neste contexto, os níveis de tolerância ou resistência é dependente da espécie testada, dose do herbicida, variações ambientais e taxa metabólica da enzima metabolizadora (YU; POWLES, 2014b).

Herbicidas aplicados em baixas doses podem proporcionar baixa mortalidade de plantas ou efeitos fitotóxicos pouco pronunciados. Nesses casos que a sobrevivência de plantas é devida principalmente pela capacidade de metabolizar (degradar ou desintoxicar) da molécula do herbicida em quantidade suficiente para garantir a sobrevivência da planta (YU; POWLES, 2014a).

A evolução da resistência metabólica de plantas daninhas pode ocorrer rapidamente se os genes responsáveis estiverem em altas frequências iniciais (YU; POWLES, 2014a). Em plantas daninhas os genes codificadores das enzimas metabolizadoras do herbicida podem ser selecionados em doses baixas do herbicida e ser enriquecidos na população mais rapidamente em espécies alógamas através

de polinização cruzada, em comparação a espécies autógamas, resultando em altos níveis de resistência em poucas gerações (YU; POWLES, 2014a).

Na cultura do feijão-caupi ocorre elevada tolerância da cultivar BRS Guariba ao herbicida oxadiazon (pré-emergência) (FONTES; GONÇALVES; MORAIS, 2010) e tolerância para esta mesma cultivar aos herbicidas oxadiazon, sulfentrazone (pré-emergência) e fomesafen (pós-emergência) (FONTES, OLIVEIRA, GONÇALVES, 2013). Tolerância diferenciada também foi observada na soja ao herbicida sulfentrazone (pré-emergência) (BARROS et al., 2005).

Segundo Garcia Torres e Fernandes-Quintanilla (1991) uma grande diferença de tolerância aos herbicidas pode existir entre famílias, gêneros ou mesmo cultivares de uma mesma espécie. Desta forma, algumas cultivares de feijão podem apresentar resposta diferenciada ao sulfentrazone e também ao saflufenacil, como constatado por Diesel et al. (2014), em que a cultivar BRSMG Talismã apresentou maior tolerância (baixa sensibilidade) ao herbicida saflufenacil, enquanto que a cultivar Jalo Precoce apresentou baixa tolerância (alta sensibilidade). Tolerância diferenciada entre cultivares de soja ao saflufenacil aplicado em pré-emergência foi constatada por Miller et al. (2012), em que a cultivar "OAC Hanover" apresentou alta sensibilidade e a cultivar "PRO 27-15" alta tolerância.

Além da diferença de tolerância entre cultivares, também pode haver diferencial de tolerância entre as modalidades de aplicação em pré e pós-emergência. Na cultura da cana-de-açúcar Velini et al. (2000) observaram que na aplicação da mistura de oxyflourfen e ametrina em pós-emergência proporcionou efeito mais pronunciado de fitointoxicação em relação à aplicação em pré-emergência, no entanto, não foi observada diferença em produtividade dos colmos entre as duas modalidades e a testemunha sem aplicação. Aplicação de saflufenacil em pré-emergência (200 g ha^{-1}) do milho não resultou em redução do rendimento, assim como a aplicação em pós-emergência sem adjuvante na fase de duas a três folhas (50 e 100 g ha^{-1}). Entretanto, quando nestas doses em pós-emergência foi adicionado adjuvante na calda, houve drástica redução no rendimento de grãos do milho (SOLTANI; SHROPSHIRE; SIKKEMA, 2009).

Muitas vezes, mesmo com uso das mesmas doses, aplicações em pós-emergência resultam em maiores níveis de fitotoxicidade sobre as plantas do que as

aplicações em pré-emergência. Isso pode ser explicado pois, enquanto os herbicidas são absorvidos rapidamente pelas partes aéreas das plantas, o solo determina o processo de adsorção dos herbicidas, reduzindo sua disponibilidade para as plantas. Assim, aplicações efetivas em pré-emergência necessitam muitas vezes doses de herbicida superiores em relação às aplicações nas partes aéreas das plantas para causar o mesmo nível de toxicidade às plantas (BRESSANIN et al., 2015), ou ainda a adição de adjuvante na aplicação de pós-emergência (SOLTANI; SHROPSHIRE; SIKKEMA, 2009).

Neste contexto, a maior atividade das enzimas metabolizadoras (GSTs e P_{450}) decorre de maior atividade de transcrição e maior expressão dos genes que as codificam (MARTINS, 2013). Diferenças na sensibilidade de plantas de *Alopecurus myosuroides* a inibidores da acetil coenzima A carboxilase (ACCase) foram devidas ao aumento da expressão e atividade de glutathione-S-transferases (CUMMINS; BRYANT; EDWARDS, 2009). O aumento da tolerância de tabaco transgênico ao herbicida linuron (inibidor do fotossistema II) foi devido a maior expressão e atividade de enzimas P_{450} (SIMINSZKY et al., 1999).

Em *Arabidopsis thaliana* a grande família de enzimas P_{450} é composta por 246 genes (loci) e a família da glutathione-S-transferase por 56 genes (loci) (DÉLYE, 2012). Alguns genes das enzimas P_{450} e glutathione-S-transferase envolvidos na tolerância de culturas aos herbicidas foram identificados. O gene *CYP105A1* de bactéria, expresso em tabaco, catalisou a toxificação de R7402, um pró-herbicida sulfoniluréia (O'KEEFE et al., 1994). Siminsky et al. (1999) isolaram aleatoriamente vários cDNAs (DNAs complementares) de P_{450} de soja e verificaram a expressão destes em leveduras, o que permitiu a seleção do cDNA *CYP71A10* que codifica uma enzima P_{450} , a qual é capaz de metabolizar quatro herbicidas feniluréia (fluometuron, linuron, diuron e chlortoluron [fotossistema II]). Este cDNA *CYP71A10* foi clonado e transferido para tabaco e sua expressão resultou no aumento da tolerância aos quatro herbicidas, com maior nível de tolerância observado para os herbicidas linuron e chlortoluron (SIMINSKY et al., 1999). Um cDNA (*CYP1A1*) de gene de P_{450} de camundongo foi clonado, transferido e expresso em tabaco, conferindo resistência ao chlortoluron através do aumento da metabolização do herbicida (SHIOTA et al., 1994).

Plantas transgênicas de *A. thaliana* expressando o gene humano de P₄₅₀ *CYP1A2*, mostraram resistência ao herbicida chlortoluron (KEBEISH et al., 2014). O gene *CYP81A6* confere resistência ao herbicida bentazon (fotossistema II) em arroz (*Oryza sativa* L.) (ZHANG et al., 2007) e ao tribenuron-methyl (acetolactato sintase - ALS) em colza (*Brassica napus* L.) (YAO et al., 2016). Gene *CYP72A5* confere resistência ao triasulfuron (ALS) em milho (PERSANS; WANG; SCHULER, 2001). O Gene *CYP71C6v1* é responsável por metabolizar herbicidas sulfoniluréias como chlorsulfuron, triasulfuron, metsulfuron-methyl (ALS), bensulfuron-methyl (ALS) e tribenuron-methyl (XIANG; WANG; REN, 2006). Os genes *CYP76C1*, *CYP72C2* e *CYP76C4* metabolizam herbicidas feniluréia, conferindo tolerância em *Arabidopsis thaliana* (HÖFER et al. 2014). Estes autores afirmam que a família de genes *CYP76Cs* fornecem um banco genético adequado para uma rápida evolução da resistência a herbicidas.

O controle genético para as enzimas GSTs é polialélico e pode ser via genes constitutivos ou induzidos, bem como a expressão constitutiva e induzida pode variar com o herbicida e com o genótipo da planta (CUMMINS; BRYANT; EDWARDS, 2009). A expressão constitutiva diz respeito a expressão da enzima cuja síntese não depende da presença de substrato específico, enquanto que na expressão induzida a produção é induzida pela presença de uma substância, como por exemplo a molécula do herbicida. Assim, o nível basal de expressão destas enzimas pode ser alterado positivamente após a aplicação do herbicida na planta e para níveis mais elevados através da aplicação de agentes protetores.

2.4.2 Safeners

Muitos agentes protetores de herbicidas ou “safeners”, como também são chamados, possuem a capacidade de induzir a expressão e atividade de enzimas GSTs (CUMMINS; BRYANT; EDWARDS, 2009; ZHANG et al., 2007), assim como de enzimas P₄₅₀ (SIMINSZKY, 2006). Os safeners devem proteger as culturas contra os efeitos tóxicos dos herbicidas sem comprometer a eficiência no controle das plantas daninhas (SIMINSZKY, 2006). Em alguns herbicidas seletivos o safener é adicionado conjuntamente à formulação comercial, o que permite maior

capacidade da planta degradar as moléculas herbicidas, evitando injúrias na planta cultivada (XAVIER, 2018).

Entre os safeners pode-se citar o benoxacor, cloquintocet-metyl, cyometrinil, dichlormid, dietil fenil fosforato, dicloroacetil glicina, dimepiperate, fenchlorazole-ethyl, fenclorim, flurazole, fluxofenim, furilazole, isoxadifen, MG 191, oxabetrinil, éter de oxine, propargil, além de anidrido naftálico e mefenpyr-diethyl (GALON et al., 2011). A eficiência desses safeners depende da modalidade de aplicação, seja em tratamento de sementes, aspergido em mistura com o herbicida, em pré-plantio incorporado ou formulado com o herbicida, dependente da espécie cultivada, herbicida empregado e modalidade de aplicação do herbicida (GALON et al., 2011).

Aumento da atividade e expressão da enzima GST após a aplicação do protetor mefenpyr-diethyl com o herbicida fenoxaprop ethyl (inibidor da ACCase) foi constatada em plantas de *Alopecurus myosuroides* (CUMMINS; BRYANT; EDWARDS, 2009). Anidrido naftálico e mefenpyr-diethyl apresentam indução da expressão de genes da P₄₅₀ em gramíneas (HATZIOS; BURGOS, 2004), sendo este último o primeiro protetor de ação foliar que pode ser utilizado com herbicidas pertencentes a diferentes mecanismos de ação (HACKER et al., 2000).

2.4.3 Inibidores de enzimas metabolizadoras

De modo contrário aos safeners, os inseticidas do grupo químico dos organofosforados (ex.: clorpirifós, terbufós e malathion) apresentam a capacidade de inibir a atividade das enzimas metabolizadoras GSTs e P₄₅₀ (LEAH et al., 1995; TREZZI; NUNES; PORTES, 2009; BUSI; GAINES; POWLES, 2017; TORRES; ORTIZ, 2017). Na literatura, existem diversos estudos relatando a interação entre herbicidas e inseticidas organofosforados. A aplicação de organofosforado juntamente com o herbicida propanil permite o controle de plantas de capim-arroz (*Echinochloa colona*) resistentes, pois o inseticida inibe a atividade das enzimas que detoxificam o herbicida nas plantas resistentes (LEAH et al., 1995). A adição de malathion com bispyribac-sodium proporcionou o aumento no controle de plantas resistentes de *Ischaemum rugosum* (TORRES; ORTIZ, 2017).

A campo a aplicação de inseticidas organofosforados em mistura ou muito próxima da aplicação de herbicidas, cuja seletividade se dá pela ação de enzimas metabolizadoras, pode levar a aumento de fitotoxicidade na cultura. Diante disso, estudos com abordagens sobre o mecanismo de tolerância do feijão aos herbicidas inibidores da enzima Protoporphyrinogen oxidase (PPO) são de grande importância para garantia da seletividade dos herbicidas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido à campo, em casa de vegetação e no laboratório de Plantas Daninhas pertencentes ao Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Pato Branco. As sementes das cultivares de feijão utilizadas nos ensaios foram obtidas junto às instituições detentoras das mesmas. O solo utilizado nos ensaios em casa de vegetação é um Latossolo Vermelho Distroférrico de textura argilosa (EMBRAPA, 2006), oriundo da área experimental da própria universidade, cuja análise física/química encontra-se descrita na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Análise física e química do solo da área experimental da UTFPR – Câmpus Pato Branco – PR, 2016.

Análise física		Análise química		Nível
Classe	%	Componente	Valor	
Argila	90,5	MO*	49,59 g dm ⁻³	Alto
Silte	9,30	P ₂ O ₅	8,10 mg dm ⁻³	Alto
Areia	0,20	K ₂ O	0,33 cmolc dm ⁻³	Muito alto
-	-	CTC	12,18 cmolc dm ⁻³	Alto
-	-	pH CaCl ₂	5,00	Baixo
-	-	H+Al	5,35 cmolc dm ⁻³	Médio
-	-	Al	0,00 cmolc dm ⁻³	Ausente
-	-	Ca	4,40 cmolc dm ⁻³	Alto
-	-	Mg	2,10 cmolc dm ⁻³	Alto

3.1 ENSAIOS PRELIMINARES COM O HERBICIDA SAFLUFENACIL

Foram realizados dois experimentos para avaliar a resposta de cultivares de feijão ao herbicida saflufenacil, o primeiro na modalidade de pré-emergência e o segundo em pós-emergência. Estes experimentos objetivaram determinar dose de saflufenacil que fosse discriminadora da tolerância entre

cultivares de feijão e verificar se a tolerância evidenciada em pré-emergência em outros trabalhos também ocorreria em pós-emergência.

3.1.1 Ensaio em Pré-emergência

O experimento em pré-emergência foi conduzido em casa de vegetação em delineamento experimental inteiramente casualizado, bifatorial do tipo qualitativo x quantitativo (4x6), com 4 repetições. O fator A foi constituído por quatro cultivares de feijão (BRSMG Talismã, BRS Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81), definidas a partir da seleção com saflufenacil em pré-emergência, efetuada no trabalho de Diesel et al. (2014). O Fator B foi constituído por 6 doses de saflufenacil em pré-emergência 0; 9,6; 14,1; 20,5; 30 e 43,8 g ha⁻¹, determinadas a partir de doses utilizadas por Diesel et al. (2014). Em função do feijão ser mais sensível aos herbicidas do que outras culturas, as doses definidas foram inferiores à recomendada na modalidade de pré-emergência da cultura do arroz irrigado de semeadura direta e da cultura do milho no manejo em pré-emergência das plantas daninhas, que é de 49-98 g ha⁻¹ de saflufenacil (BASF, 2018a).

Em vasos com capacidade para 5 litros (unidade experimental) foram semeadas quatro sementes de cada cultivar a uma profundidade de 5 cm. A aplicação de saflufenacil foi efetuada sobre o solo imediatamente após a semeadura do feijão. A aspersão dos herbicidas foi realizada utilizando-se um pulverizador costal pressurizado a CO₂, acoplado a esse uma barra com três pontas de pulverização tipo leque 110.02, espaçadas entre si em 0,5 m com pressão de (240 kPa), a qual proporciona um volume de calda de 200 L ha⁻¹. A umidade dos vasos foi mantida por meio de irrigação. A temperatura na casa de vegetação foi mantida na faixa entre 25 °C e 31°C.

Foi avaliada a tolerância relativa aos 35 dias após aplicação (DAA), por meio da escala de notas de 0 a 100%, conforme proposto por Frans et al. (1986), em que 100 representa a ausência de sintomas e 0 representa a morte das plantas. Aos 35 DAA as plantas foram seccionadas rente ao solo para a determinação da massa verde da parte aérea (MVPA) e massa seca da parte aérea (MSPA) após atingir peso constante em estufa de secagem mantida a temperatura de 60 °C.

3.1.1.1 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). As médias dos fatores qualitativos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e para os fatores quantitativos se procedeu a análise de regressão através do programa WinStat (MACHADO; CONCEIÇÃO, 2005). Foram ajustadas equações não lineares logísticas de 3 parâmetros e sigmoidal de 3 parâmetros quando necessário e as figuras construídas por meio do programa SigmaPlot 10.0 (SIGMAPLOT, 2006).

3.1.2 Ensaio em Pós-emergência

Neste ensaio foi empregado o mesmo delineamento experimental, número de repetições e arranjo dos tratamentos, assim o Fator A foi constituído pelas mesmas cultivares do experimento na modalidade de pré-emergência (3.1.1). O Fator B foi constituído por 6 doses de saflufenacil (0; 0,7; 1,0; 1,5; 2,1 e 3,1 g ha⁻¹), aplicadas no momento em que as plantas encontravam-se no estágio de desenvolvimento V₄ (terceiro trifólio inteiramente desenvolvido), sendo adicionado junto a calda de pulverização o adjuvante Dash HC a 0,5% (v/v). O herbicida saflufenacil na modalidade de aplicação em pós-emergência (dessecação) de plantas daninhas e espécies cultivadas é recomendado nas doses que variam entre 24,5-98 g ha⁻¹ (BASF, 2018a).

Foram semeadas quatro sementes por vaso e após a germinação realizou-se o desbaste deixando-se apenas duas plântulas por repetição (vaso). Foram avaliadas a tolerância relativa aos 42 DAA e determinada a MSPA da mesma forma que no experimento em pré-emergência (3.1.1). A umidade do solo foi mantida por meio de irrigação diária.

3.1.3.1 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). As médias do fator qualitativo foram comparada pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

e para os fatores quantitativos se procedeu a análise de regressão através do programa WinStat (MACHADO; CONCEIÇÃO, 2005). Foram ajustadas equações não lineares sigmoidal logística de 3 parâmetros e as figuras construídas por meio do programa SigmaPlot 10.0 (SIGMAPLOT, 2006).

3.2 SCREENING DE CULTIVARES DE FEIJÃO PARA A TOLERÂNCIA AO SAFLUFENACIL EM PRÉ-EMERGÊNCIA

Este experimento foi conduzido em casa de vegetação em delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições. Foram avaliadas 29 cultivares de feijão (BRS Notável, BRS Estilo, BRS Requite, BRS Pérola, BRS Esplendor, Jalo Precoce, BRS Esteio, IAC Milênio, IAC Imperador, IPR Uirapuru, IPR Tuiuiú, IPR Tiziu, IPR Gralha, IPR 81, IPR Curió, IPR Juriti, IPR Colibri, IPR Eldorado, IPR Tangará, IPR Campos Gerais, IPR Andorinha, UTF 9, UTF 10, BGF 14, ANFP 110, BGF 51, ANFC 100, ANFC 9 e BRSMG Talismã) quanto a tolerância ao herbicida saflufenacil, aplicado em pré-emergência na dose discriminadora de $20,5 \text{ g ha}^{-1}$, a qual apresentou-se mais eficiente em discriminar as cultivares avaliadas no ensaio em pré-emergência (3.1.1).

Vasos com capacidade de 5 L foram preenchidos com solo corrigido conforme análise química, nos quais foram semeadas, a 5 cm de profundidade, quatro sementes de cada cultivar por unidade experimental (vaso). A umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo com irrigação diária. A aplicação dos tratamentos foi realizada conforme o experimento descrito no item 3.1.1.

As sementes das cultivares foram adquiridas junto às empresas detentoras das mesmas ou do Banco de Germoplasma da UTFPR. Foram avaliados a tolerância relativa e a altura de plantas aos 14 e 28 DAA e a MVPA, determinada da mesma forma que no experimento em pré-emergência (3.1.1).

3.2.1 Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$) para testar os efeitos dos tratamentos e quando houve significância se

procedeu com o teste de agrupamento de médias de Scott e Knott ($p < 0,05$), com o auxílio do programa computacional Genes (CRUZ, 2013). As figuras foram construídas através do programa SigmaPlot 10.0 (SIGMAPLOT, 2006).

3.3 TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE FEIJÃO A INIBIDORES DA PROTOX EM PRÉ-EMERGÊNCIA

Foi conduzido experimento em casa de vegetação em delineamento inteiramente casualizado, fatorial 4x4x8, com quatro repetições. O Fator A foi constituído por herbicidas inibidores da Protox de quatro grupos químicos registrados no Brasil: fomesafen (difetiléteres), flumioxazin (N-feniltalamidas), sulfentrazone (triazolinonas) e saflufenacil (pirimidinadionas). O Fator B foi composto por quatro doses dos herbicidas fomesafen (0; 280; 560 e 840 g ha⁻¹), flumioxazin (0; 70; 110 e 140 g ha⁻¹), sulfentrazone (0; 400; 600 e 800 g ha⁻¹) e saflufenacil (0; 14,1; 20,5 e 30 g ha⁻¹), todos aplicados em pré-emergência. O Fator C constituído por oito cultivares de feijão organizadas em ordem decrescente de tolerância ao saflufenacil (BRSMG Talismã, BRS Requite, IPR Curió, ANFC 100, IPR Tuiuiú, IPR Juriti, BRS Esteio e IAC Milênio), definidas nos resultados do experimento proposto no item 3.2. Baseados em trabalhos conduzidos em outros países com a cultura do feijão, na modalidade de aplicação de pré-emergência, foram definidas as doses de fomesafen (SIKKEMA; SHROPSHIRE; SOLTANI, 2009), flumioxazin (SOLTANI; BOWLEY; SIKKEMA, 2005) e sulfentrazone (HEKMAT et al., 2007).

As condições do solo, casa de vegetação, procedimentos e período de aplicação foram realizadas conforme mencionado para aplicação no experimento em pré-emergência 3.1.1 e as avaliações e períodos de avaliação conforme item 3.2, além da MSPA.

3.3.1 Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$), com o auxílio do programa computacional RStudio (RStudio Team, 2016), utilizando o pacote ExpDes.pt (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2011).

Quando houve significância para os fatores qualitativos ou quantitativos e/ou interação significativa se procedeu teste de comparação de médias de Duncan ($p < 0,05$). As figuras foram geradas com o auxílio do programa computacional SigmaPlot 12.0 (SIGMAPLOT, 2006).

3.4 SELETIVIDADE DE DOSES CRESCENTES DE SAFLUFENACIL E SULFENTRAZONE PARA CULTIVARES DE FEIJÃO E EFICÁCIA NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DO FEIJÃO

O delineamento experimental foi de parcelas sub subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas foram alocadas as cultivares BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú, selecionadas no experimento do item 3.3. Nas subparcelas foram dispostos os herbicidas saflufenacil e sulfentrazone e nas sub subparcelas foram aplicadas as doses de saflufenacil (0; 6,9; 10,4; 15,6; 23,3; 35 e 52,5 g ha⁻¹) e sulfentrazone (0; 118,5; 177,8; 266,7; 400; 600 e 900 g ha⁻¹) em pré-emergência. As doses de 35 g ha⁻¹ de saflufenacil e 600 g ha⁻¹ de sulfentrazone foram consideradas como padrões, a partir das quais calculou-se as demais doses, considerando o intervalo entre as doses de 1,5 vezes. Dessa forma, as doses para ambos os herbicidas correspondem, respectivamente, a 0; 0,2; 0,3; 0,44; 0,67; 1,0 e 1,5 vezes a dose padrão.

Foram conduzidos dois experimentos na safrinha 2016/17, sendo um sem e outro com a presença de plantas daninhas, em cada um dos dois locais de avaliação, no município de Pato Branco na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), com semeadura em 07/02/2017 e no município de Verê, em 09/02/2017, em solo do tipo Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa (EMBRAPA, 2006).

Em cada parcela do experimento com a presença de plantas daninhas foram semeadas cinco espécies daninhas no mesmo dia da semeadura da cultura: corda de viola (*Ipomoea grandifolia*), leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), guanxuma (*Sida rhombifolia*), caruru (*Amaranthus retroflexus*) e picão preto (*Bidens pilosa*). O cálculo da quantidade de sementes utilizada considerou a porcentagem de germinação fornecida pelo vendedor, para obter uma densidade de 10 plantas de

cada espécie por m^{-2} e esta quantidade foi duplicada visando garantir o estande de plantas daninhas. Adicionalmente, para cada cultivar de feijão, houve um tratamento sem aplicação de herbicida e livre da presença de plantas infestantes.

As parcelas foram constituídas de 4 linhas de 4 m de comprimento, espaçadas em 0,45 m, totalizando uma área de $7,2 m^{-2}$. As determinações foram efetuadas nas duas linhas centrais, eliminando-se 0,5 m de cada extremidade destas linhas, resultando em $2,7 m^{-2}$ de área útil.

A aplicação dos tratamentos foi realizada no mesmo dia da semeadura do feijão, sendo empregado para isso um pulverizador costal pressurizado a CO_2 , acoplado a esse uma barra com quatro pontas de pulverização tipo leque 110.02, espaçadas entre si em 0,5 m, com volume de calda de $200 L ha^{-1}$.

Os resultados da análise de solo referentes ao local de implantação do experimento no município de Pato Branco são apresentados na **Tabela 1** e para o Verê encontram-se descritos na **Tabela 2**.

Tabela 2 – Análise física e química do solo do local de implantação do experimento no município do Verê – PR, 2017.

Análise física		Análise química		Nível
Classe	%	Componente	Valor	
Argila	63,75	MO*	$29,24 g dm^{-3}$	Baixo
Silte	17,50	P_2O_5	$6,13 mg dm^{-3}$	Alto
Areia	18,75	K_2O	$0,40 cmolc dm^{-3}$	Muito alto
		CTC	$13,94 cmolc dm^{-3}$	Médio
		pH $CaCl_2$	5,20	Baixo
		H+Al	$4,96 cmolc dm^{-3}$	Médio
		Al	$0,00 cmolc dm^{-3}$	Ausente
		Ca	$6,18 cmolc dm^{-3}$	Alto
		Mg	$2,40 cmolc dm^{-3}$	Alto

Os dados meteorológicos durante a condução dos experimentos no município de Pato Branco encontram-se na **Figura 1**.

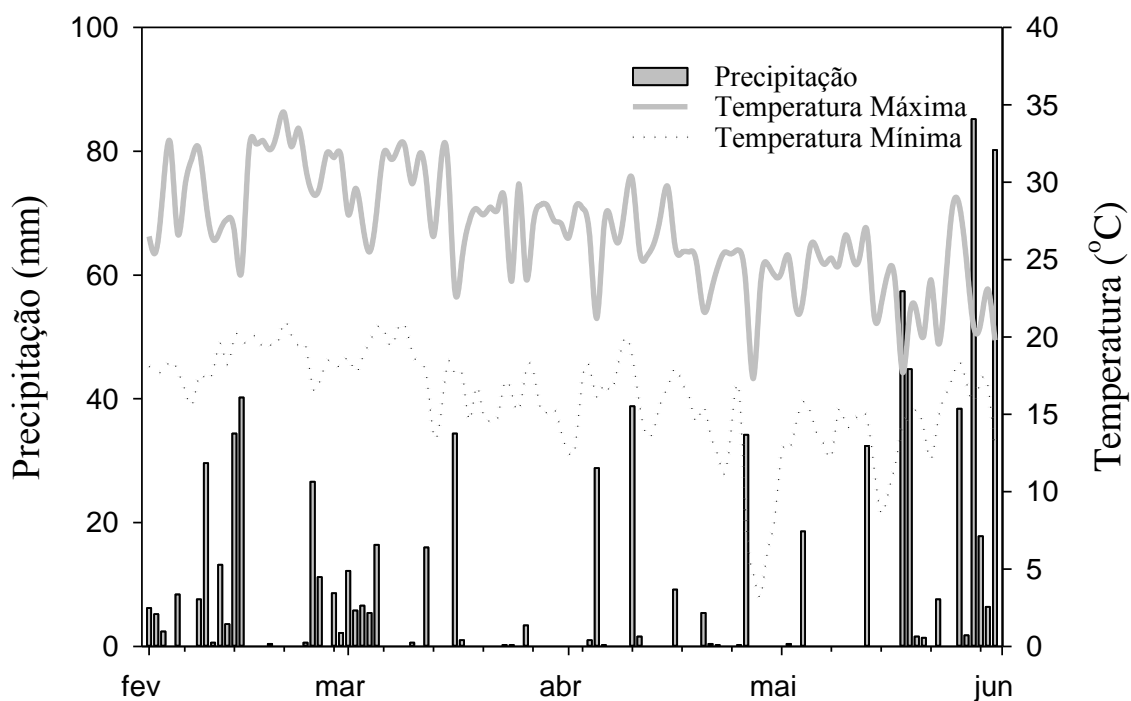


Figura 1 - Precipitação pluvial, temperaturas mínima e máxima durante o período de condução do experimento a campo no ano de 2017 no município de Pato Branco – PR. **Fonte:** SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná).

Considerando que o SIMEPAR não possui estação meteorológica em Verê, optou-se por apresentar os dados da estação mais próxima que fica situada no município de Francisco Beltrão, em que os dados encontram-se na **Figura 2**.

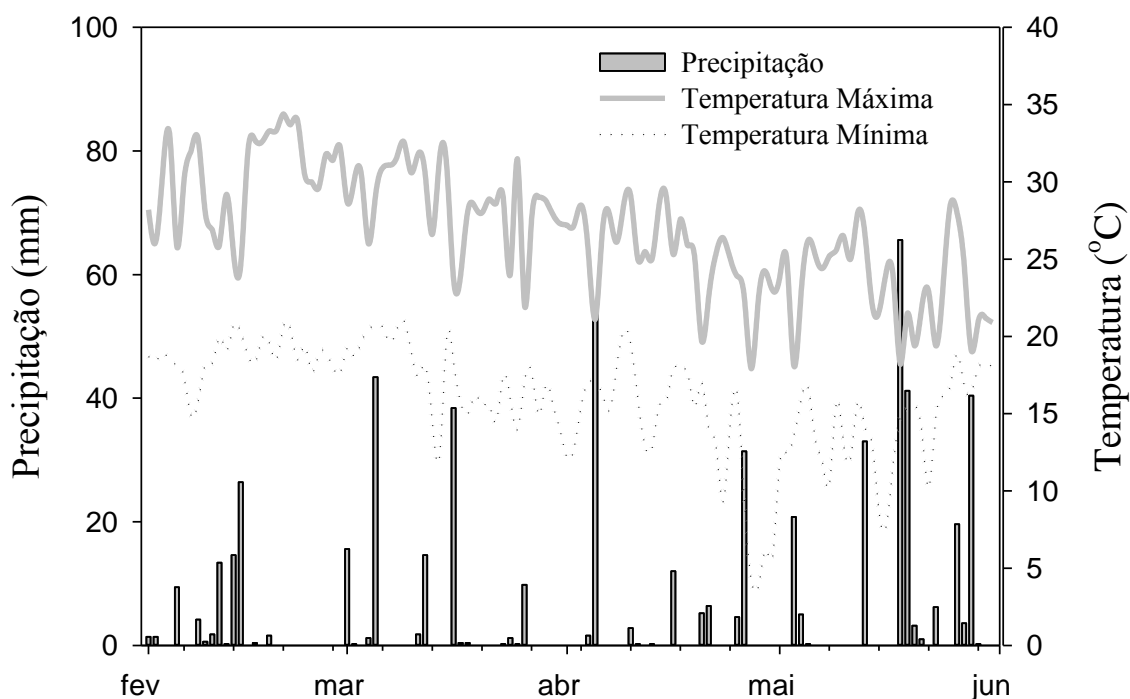


Figura 2 - Precipitação pluvial, temperaturas mínima e máxima durante o período de condução do experimento a campo no ano de 2017. Dados referentes ao município de Francisco Beltrão – PR. SIMEPAR não possui estação meteorológica no município de Verê, justificando-se o uso dos dados climáticos da cidade mais próxima. **Fonte:** SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná).

As variáveis avaliadas foram: tolerância relativa do feijão, controle de plantas daninhas total na parcela e específico para cada espécie daninha, densidade de plantas de feijão, densidade total das plantas daninhas (incluindo as cinco espécies) e densidade específica para cada espécie daninha, massa seca do feijão, número de vagens por planta (NVP) e a produtividade.

Aos 14 e 28 DAA foi avaliada a tolerância relativa das plantas de feijão considerando os sintomas na área útil da parcela, utilizando a escala de nível de controle e injúria de Frans et al. (1986), assim como esta mesma escala foi empregada na avaliação do nível de controle de plantas daninhas considerando o controle geral das espécies daninhas presentes na parcela. Aos 21 e 28 DAA foi avaliado o estande de plantas de feijão, contabilizando-se o número de plantas sobreviventes na área útil da parcela.

Aos 28 DAA, cinco plantas de feijão de cada parcela foram coletadas na parte interna da bordadura das duas linhas centrais, sendo cortadas rente ao solo

para determinação da MSPA, após secagem em estufa com circulação forçada de ar, mantida a 60 °C até massa constante. Aos 21 e 28 DAA foi realizada a avaliação de controle de plantas daninhas geral e para cada espécie, através da contagem do número de plantas daninhas de cada espécie presentes em 0,25 m⁻² (medido com o auxílio de um quadrado de madeira de 0,5 m x 0,5 m) de cada parcela. O número de plantas em 0,25 m⁻² foi convertido para densidade de plantas m⁻².

No experimento sem plantas daninhas, a subtração entre o rendimento de grãos dos tratamentos com aplicação de herbicida e o rendimento da testemunha forneceu o valor da fitotoxicidade dos herbicidas. A redução do rendimento de grãos devido somente à competição com plantas daninhas foi obtida pela subtração entre a perda de rendimento no experimento com plantas daninhas e o experimento sem plantas daninhas.

Após a colheita do feijão foram avaliados a altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, peso de 1000 grãos e produtividade, sendo corrigida a umidade para 13%.

3.4.1 Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$) para testar os efeitos dos tratamentos e quando houve significância se procedeu o teste de comparação de médias de Duncan ($p < 0,05$) para os fatores qualitativos e para o fator quantitativo se procedeu a análise de regressão. As análises foram realizadas com o auxílio do programa computacional RStudio (RStudio Team, 2016), utilizando o pacote Agricolae e as figuras geradas com o auxílio do programa computacional SigmaPlot 10.0 (SIGMAPLOT, 2006).

3.5 AVALIAÇÃO DA DETOXIFICAÇÃO DO HERBICIDA SAFLUFENACIL E SULFENTRAZONE COM USO DE INIBIDORES E PROTETORES DE METABOLIZAÇÃO

Inicialmente foi conduzido experimento preliminar para a seleção da molécula inibidora e protetora e do herbicida, e posteriormente conduziu-se o ensaio definitivo com curva de resposta a dose do herbicida.

3.5.1 Ensaio Preliminar da Metabolização

Dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação sem controle de temperatura e umidade relativa, em delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema bifatorial com três repetições e quatro plantas por unidade experimental (vaso). Quatro sementes foram semeadas a uma profundidade de 4,5 cm em vasos com capacidade de 5 L, preenchidos com solo. A umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo, por meio de irrigação diária.

O primeiro experimento foi realizado com a cultivar de feijão BRSMG Talismã (Tolerante), em que o fator A foi composto pelos herbicidas saflufenacil ($20,5 \text{ g ha}^{-1}$) e sulfentrazone (800 g ha^{-1}) mais uma testemunha sem herbicida. O fator B foi constituído por inibidor/inseticidas organofosforados (clorpirifós 1125 g ha^{-1} [Vexter®]), (clorpirifós 1125 g ha^{-1} + malathion 1000 g ha^{-1} [Malathion 500 CE®]) e testemunha sem herbicida e sem inibidor.

A aplicação de clorpirifós isolado foi realizada diretamente no sulco de semeadura, com o auxílio de pulverizador costal pressurizado a CO_2 , com volume de calda de 65 L ha^{-1} , utilizando apenas uma ponta de pulverização do tipo leque, 110.015. Para isso, foi aberto um sulco no vaso na forma de um círculo, com profundidade de 4,5 cm, onde as sementes foram depositadas, sendo cobertas com aproximadamente 1 cm de solo e imediatamente após foi realizada a aplicação do clorpirifós, de modo a atingir uma faixa de aplicação de 13 cm de largura, e em seguida o sulco foi fechado, de modo a manter incorporado o produto. A associação de clorpirifós + malathion foi aplicada em pós-emergência inicial das plântulas, no estágio de V_2 (folhas primárias completamente aberta), com o auxílio de pulverizador costal pressurizado a CO_2 , com volume de calda de 100 L ha^{-1} , utilizando uma ponta de pulverização leque, 110.015. A aplicação dos herbicidas foi realizada em pré-emergência imediatamente após a semeadura, com o auxílio de um pulverizador

costal pressurizado a CO₂, acoplado em uma barra de pulverização munida de três pontas do tipo leque, 110.02, espaçadas a 0,5 m entre si, com vazão de 200 L ha⁻¹.

O segundo experimento foi realizado com a cultivar de feijão IAC Milênio (sensível), em que o fator A foi composto pelos herbicidas saflufenacil (10 g ha⁻¹) e sulfentrazone (200 g ha⁻¹), mais uma testemunha sem herbicida. O fator B foi constituído pelo protetor anidrido naftálico em tratamento de semente (TS) (5 g kg⁻¹ de semente), mefenpyr-diethyl em pós-emergência (18 g ha⁻¹) e mefenpyr-diethyl em TS (0,3 g kg⁻¹ de sementes), mais uma testemunha sem herbicida e sem protetor. O anidrido naftálico em TS dispensou diluição, enquanto que mefenpyr-diethyl em TS foi diluído em quantidade de água suficiente para a total absorção do produto pelas sementes. A aplicação de mefenpyr-diethyl em pós-emergência foi realizada no estágio V₂, com o auxílio de pulverizador costal pressurizado a CO₂, com volume de calda de 100 L ha⁻¹, utilizando uma ponta de pulverização do tipo leque, 110.015.

Aos 14 e 28 DAA foi avaliada a altura de planta e a tolerância relativa conforme mencionado no item 3.1.1. Aos 28 DAA determinou-se a MVPA e MSPA das plantas conforme mencionado no item 3.1.1. Os dados dessas variáveis foram convertidos para porcentagem em relação à testemunha sem aplicação de herbicida, inibidor no primeiro experimento e sem aplicação de herbicida e protetor segundo experimento.

3.5.1.1 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$) para testar os efeitos dos tratamentos. Quando houve significância foi aplicado o teste de comparação de médias de Duncan ($p < 0,05$), com o auxílio do programa computacional Genes (CRUZ, 2013) e as figuras construídas através do programa SigmaPlot 10.0 (SIGMAPLOT, 2006).

3.5.2 Ensaio Definitivo da Metabolização

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, do tipo trifatorial, com três repetições e quatro plantas por

unidade experimental (vaso). As condições da casa de vegetação, umidade dos vasos, número de sementes por vasos foram conforme o experimento descrito no item 3.5.1.

O Fator A foi constituído pelas cultivares de feijão BRSMG Talismã (Tolerante) e IAC Milênio (Sensível), o B pelo inibidor clorpirifós (1125 g ha⁻¹), protetor mefenpyr-diethyl em TS (0,3 g kg⁻¹ de sementes) e testemunha sem protetor e sem inibidor, e o C por doses de sulfentrazone (0; 100; 200; 300; 400; 500 e 600 g ha⁻¹). As aplicações dos produtos foram realizadas conforme descrito no item 3.5.1.

Aos 14 e 21 DAA foi avaliada a altura de planta e a tolerância relativa. Aos 21 DAA foi realizada a determinação da MVPA e MSPA das plantas conforme mencionado no item 3.1.1. Os dados dessas variáveis foram convertidos para porcentagem em relação à testemunha sem aplicação de herbicida, inibidor e protetor.

3.5.2.1 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$) para testar os efeitos dos tratamentos e quando houve significância se procedeu o teste de comparação de médias de Duncan ($p < 0,05$) para os fatores qualitativos e para o fator quantitativo se procedeu a análise de regressão com o auxílio do programa computacional RStudio (RStudio Team, 2016), utilizando o pacote ExpDes.pt (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2011). As figuras foram geradas com o auxílio do programa computacional SigmaPlot 10.0 (SIGMAPLOT, 2006).

Ressalta-se que nos diferentes experimentos conduzidos neste trabalho quando os dados foram quantitativos procedeu-se análise de regressão com ajustes de equações não lineares do tipo sigmoidal logística de 3 parâmetros (1), sigmoidal sigmoide de 3 parâmetros (2), sigmoidal logística de 4 parâmetros (3), sigmoidal sigmoide de 4 parâmetros (4) e hipérbole hiperbólica decrescente de três parâmetros (5):

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

$$y = a / (1 + \exp(-(x-x_0)/b)) \quad (\text{Equação 2})$$

$$y = y_0 + a / (1 + \text{abs}(x/x_0)^b) \quad (\text{Equação 3})$$

$$y = y_0 + a / (1 + \exp(-(x-x_0)/b)) \quad (\text{Equação 4})$$

$$y = y_0 + (a \cdot b) / (b + x) \quad (\text{Equação 5})$$

em que: y = resposta da variável dependente; x = é a dose do herbicida; a = assíntota máxima da curva; b = declividade da curva; x_0 (D_{50}) = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%; y_0 = assíntota mínima da curva. Os valores de D_{50} referentes aos experimentos conduzidos a campo, quando superiores a maior dose testada foi representado como $>1,5$ vezes a dose padrão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo proporcionou informações de relevantes no âmbito da tolerância relativa de cultivares de feijão aos herbicidas inibidores da Protox, bem como níveis de controle de plantas daninhas que acometem esta cultura, fornecendo parâmetro para a seletividade dos herbicidas saflufenacil e sulfentrazone. Além disso, os resultados fornecem sustentação para a participação efetiva da metabolização no mecanismo de tolerância do feijão a este mecanismo de ação herbicida.

4.1 ENSAIOS PRELIMINARES COM O HERBICIDA SAFLUFENACIL

Foi conduzido um primeiro ensaio com as cultivares de feijão BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IPR 81, em curva de resposta a dose de até 43,8 g ha⁻¹ de saflufenacil na modalidade de pré-emergência, no sistema plante e aplique. Um segundo ensaio foi conduzido na modalidade de pós-emergência em curva de resposta a dose de até 3,1 g ha⁻¹ de saflufenacil aplicado no estágio V₂, empregando as mesmas cultivares do ensaio em pré-emergência.

4.1.1 Resposta ao saflufenacil em pré-emergência

A cultivar BRSMG Talismã demonstrou elevados níveis de tolerância ao saflufenacil mesmo na maior dose utilizada (43,8 g ha⁻¹), enquanto que Jalo Precoce apresentou a menor tolerância ao herbicida (**Figura 3A**). Em patamares intermediários em relação à tolerância, aparecem as cultivares IPR 81 e BRS Esplendor.

O aumento das doses de saflufenacil proporcionou redução da matéria seca da parte aérea (MSPA), na média das cultivares, atingindo decréscimo máximo de 25%, com o uso da maior dose (**Figura 3B**). Na média das doses, as MSPA das cultivares BRSMG Talismã e BRS Esplendor não diferiram da testemunha sem aplicação de saflufenacil, sendo significativamente superiores às MSPA das cultivares IPR 81 e Jalo Precoce. A MSPA da cultivar Jalo Precoce foi a menor

dentre as cultivares avaliadas (**Figura 3C**), respaldando os resultados dos níveis de tolerância.

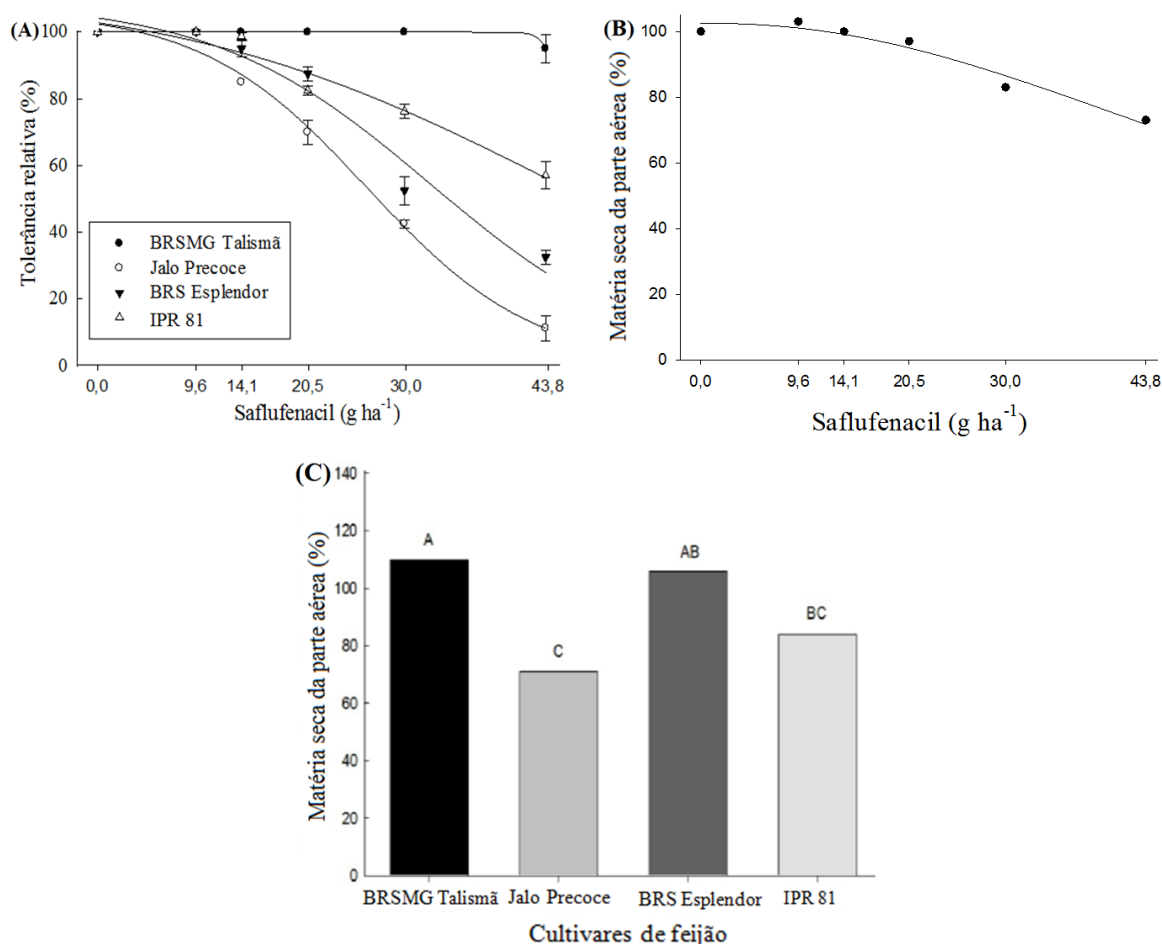


Figura 3 – Tolerância relativa (A), matéria seca da parte aérea na média de cultivares (B) e matéria seca da parte aérea na média de doses em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida (C), aos 35 DAA de saflufenacil em pré-emergência. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os valores de D_{50} maiores foram apresentados pelas cultivares IPR 81 ($48,97 \text{ g ha}^{-1}$) e BRSMG Talismã ($45,95 \text{ g ha}^{-1}$), enquanto que BRS Esplendor e Jalo Precoce apresentaram os menores valores, $32,84$ e $26,34$, respectivamente (**Tabela 3**).

Tabela 3 - Parâmetros das equações^(1,2), coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis tolerância relativa e matéria seca da parte aérea (MSPA) aos 35 DAA de saflufenacil em pré-emergência.

Variável	Cultivar	Parâmetros			R^2	p
		a	b	D_{50}		
Tolerância relativa	BRSMG Talismã	² 100	-0,72	45,94	0,99	0,001

Jalo Precoce	¹ 100,01	3,38	26,34	0,99	0,000	
BRS Esplendor	¹ 101,67	3,16	32,84	0,98	0,002	
IPR 81	¹ 101,87	2,08	48,97	0,96	0,005	
MSPA	-	¹ 102,53	2,23	63,94	0,93	0,008

¹Equação logística de três parâmetros; ²Equação sigmóide de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D₅₀= dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

Em outro estudo a tolerância do feijão ao saflufenacil aplicado em pré-emergência foi variável de acordo com a cultivar, sendo o maior nível de tolerância também apresentado pela BRSMG Talismã (DIESEL et al., 2014). Níveis distintos de suscetibilidade ao saflufenacil entre espécies leguminosas não é incomum, quando a aplicação de saflufenacil é realizada na modalidade de pré-emergência (DIESEL et al., 2014; SOLTANI et al. 2010). Na comparação dos níveis de tolerância de feijão, ervilha e soja ao saflufenacil (100 e 200 g ha⁻¹) em pré-emergência, Soltani et al. (2010), detectaram maior sensibilidade do feijão, porém houve recuperação das plantas após 28 DAA.

Diferenças de tolerância podem ocorrer devido à existência de mecanismos específicos capazes de interferir na absorção, retenção, translocação, metabolização ou compartimentalização dos compostos herbicidas nos tecidos das plantas (OLIVEIRA Jr. et al., 2011). Quando comparadas com espécies monocotiledôneas, como milho, observa-se em dicotiledôneas maior absorção e translocação e menor metabolização do herbicida saflufenacil (GROSSMAN, 2011). Esses mecanismos podem estar relacionados aos distintos níveis de tolerância entre espécies ou mesmo entre cultivares dentro de cada espécie. A seletividade do saflufenacil, quando aplicado no solo, ocorre através do posicionamento das moléculas em relação às estruturas de desenvolvimento inicial (BASF, 2013) e, portanto, a absorção e translocação do herbicida a partir dessas estruturas poderiam estar relacionadas à tolerância diferencial entre cultivares de feijão.

4.1.2 Resposta ao saflufenacil em pós-emergência

Na modalidade de pós-emergência, doses muito baixas de saflufenacil (a partir de 0,7 g ha⁻¹), em relação às recomendadas em bula, foram suficientes para gerar sintomas de clorose, que evoluíram para necrose em grande parte dos tecidos,

incluindo caules (**Figura 4A e B**). Esses sintomas são resultado da peroxidação lipídica decorrente da presença de grandes concentrações de radicais livres nas células, comuns após a aplicação de herbicidas desse mecanismo de ação (VIDAL et al., 2014).

As cultivares de feijão BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IPR 81 apresentaram comportamento semelhante em relação às doses de saflufenacil testadas, tanto para tolerância relativa quanto para MSPA, com exceção da dose de 2,1 g ha⁻¹, que foi mais discriminadora (**Figura 4A e B**). Na dose de 2,1 g ha⁻¹, destacou-se a cultivar BRS Esplendor, pela maior sensibilidade ao herbicida, e a cultivar BRSMG Talismã, pela maior tolerância. Porém, a maior tolerância de BRSMG Talismã somente foi expressa através da variável MSPA, não sendo detectada na avaliação de tolerância relativa.

O comportamento biológico para a variável tolerância relativa foi muito semelhante entre todas as cultivares (**Figura 4A**). A variável MSPA demonstrou grande variabilidade de resposta em função da dose empregada, não somente para BRSMG Talismã, mas também para outras cultivares avaliadas (**Figura 4B**). De modo geral, todas as cultivares apresentaram redução da MSPA a partir da dose de 1,5 g ha⁻¹ e as diferenças entre cultivares se acentuaram na dose de 2,1 g ha⁻¹ e na dose de 3,1 g ha⁻¹ a MSPA foi drasticamente reduzida (**Figura 4B**). As cultivares BRSMG Talismã, BRS Esplendor e IPR 81 foram completamente mortas na dose de 3,1 g ha⁻¹, enquanto que Jalo Precoce, ao contrário da modalidade de aplicação em pré-emergência, foi a única que não apresentou controle completo por essa dose de saflufenacil.

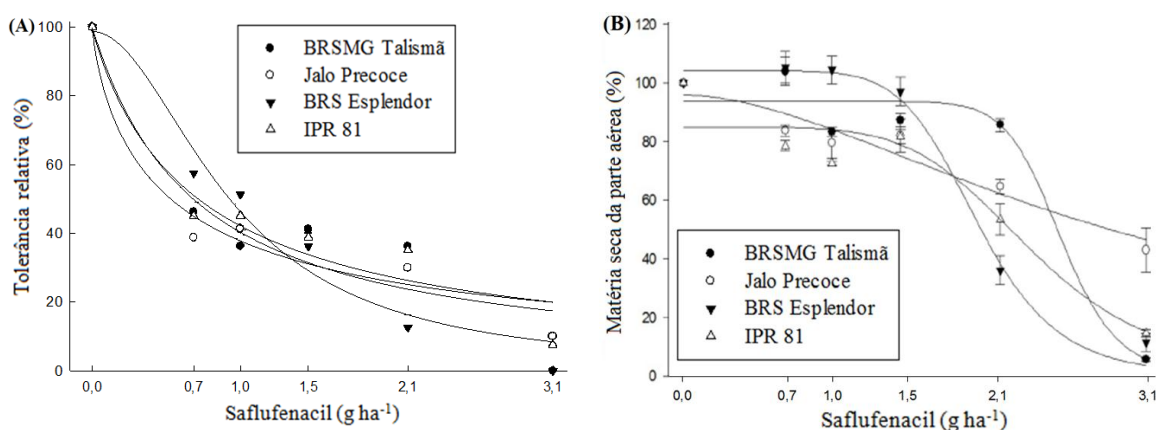


Figura 4 – Tolerância relativa de cultivares de feijão (A) e matéria seca da parte aérea, em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida (B) aos 42 DAA de saflufenacil em pós-emergência.

Os valores de D_{50} para TR para todas cultivares ficou inferior a 1 g ha^{-1} de saflufenacil aplicado em pós-emergência. Para a MSPA o menor valor de D_{50} foi observado para a cultivar BRS Esplendor ($1,97 \text{ g ha}^{-1}$) e o maior valor apresentado pela BRSMG Talismã ($2,53 \text{ g ha}^{-1}$) (**Tabela 4**).

Tabela 4 - Parâmetros da equação⁽¹⁾, coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis tolerância relativa e matéria seca da parte aérea (MSPA) aos 42 DAA de saflufenacil em pós-emergência..

Variável	Cultivar	Parâmetros			R^2	p
		a	b	D_{50}		
Tolerância relativa	BRSMG Talismã	¹ 99,59	1,02	0,68	0,88	0,037
	Jalo Precoce	¹ 99,77	0,78	0,52	0,95	0,010
	BRS Esplendor	¹ 98,67	1,97	0,93	0,96	0,006
	IPR 81	¹ 99,61	0,94	0,71	0,93	0,016
MSPA	BRSMG Talismã	¹ 93,7	13,44	2,53	0,95	0,009
	Jalo Precoce	¹ 95,97	1,78	2,99	0,92	0,006
	BRS Esplendor	¹ 104,19	7,36	1,97	0,98	0,001
	IPR 81	¹ 84,87	5,45	2,34	0,90	0,028

¹Equação logística de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

O incremento do efeito dessecante observado na parte aérea de todas as cultivares de feijão à medida em que as doses foram incrementadas era esperado. Em geral, os danos gerados pela aplicação de saflufenacil são rápidos, pois este é um herbicida que provoca peroxidação lipídica quando há exposição da planta aos raios solares (GROSSMAN, 2011). O saflufenacil é recomendado para dessecação do feijão em pré-colheita (BASF, 2013), porém, desconhecia-se a existência ou não de diferenças de tolerância entre cultivares em grande amplitude de doses do herbicida.

É possível que a baixa variabilidade de seletividade do saflufenacil para diversas cultivares em pós-emergência, em relação à aplicação em pré-emergência, decorra de sua rápida absorção e translocação pelos tecidos das partes aéreas e pela rápida geração de radicais livres após a exposição ao sol (GROSSMAN, 2011; VIDAL et al., 2014). Efeito similar ao detectado em feijão ocorre na cultura do milho,

que apresenta níveis naturais de tolerância ao saflufenacil. A aplicação de saflufenacil (200 g ha^{-1}) antes da emergência do milho resultou em injúria limitada, abaixo de 1%, enquanto a aplicação desse herbicida em pós-emergência, em plantas de milho com duas a três folhas, causou injúria de 25% (SOLTANI et al., 2009). Para alguns herbicidas inibidores da Protox, a aplicação na parte aérea de plantas jovens aliada à adição de adjuvantes pode potencializar sua ação (CARVALHO; OVEJERO, 2008; MEROTTO Jr.; VIDAL, 2001). Por exemplo, na modalidade de pós-emergência na cultura da soja, o lactofen e o acifluorfen (inibidores da Protox) são capazes de causar sintomas de queimadura nas folhas, porém, devido a absorção e translocação mais lenta dos compostos, associado ao acelerado metabolismo da planta, ocorre a rápida rebrota sem injúrias nas folhas novas (OLIVEIRA Jr et al., 2011; RITTER & COBLE, 1981).

Em pré-emergência, o grau de sensibilidade das cultivares aos herbicidas pode estar associado a características morfológicas e anatômicas de estruturas de desenvolvimento inicial das plantas (epicótilo, hipocótilo). Além disso, parte do saflufenacil aplicado em pré-emergência é adsorvido aos colóides do solo (GANNON et al., 2014) e dessa forma, no presente trabalho, o efeito fitotóxico do herbicida saflufenacil na modalidade de pós-emergência ocorre com a utilização de doses com magnitude 15 vezes menor do que as necessárias para gerar fitotoxicidade em pré-emergência.

A variabilidade de tolerância entre cultivares de feijão se manifestou de forma mais clara na aplicação de saflufenacil em pré-emergência do que em pós-emergência, sugerindo mecanismos distintos de tolerância entre as aplicações de saflufenacil em pré e pós-emergência. Na parte aérea das plantas, características morfológicas da superfície foliar (tricomas, placas de cera) e a cutícula são consideradas as principais barreiras para a absorção dos herbicidas (VIDAL, 2002). Na absorção via solo, estruturas anatômicas das partes aéreas emergentes, bem como diferenças na endoderme são consideradas importantes barreiras para a absorção e translocação de herbicidas (VIDAL, 2002). A ausência de barreiras significativas para a absorção e translocação de saflufenacil aplicados na parte aérea das cultivares de feijão poderia explicar a similaridade de tolerância das cultivares avaliadas. A rápida absorção e translocação desse herbicida em

aplicações na parte aérea das plantas de feijão provoca a rápida produção de radicais livres, o que pode comprometer a ação de outros mecanismos de tolerância e mascarar diferenças entre cultivares detectadas na modalidade de aplicação em pré-emergência.

4.2 SCREENING DE CULTIVARES DE FEIJÃO PARA A TOLERÂNCIA AO SAFLUFENACIL EM PRÉ-EMERGÊNCIA

As diferenças de tolerância ao saflufenacil entre as 29 cultivares de feijão avaliadas foram acentuadas. Aos 14 dias após aplicação (DAA) a cultivar Jalo Precoce apresentou a menor tolerância (**Figura 5A**). Com o avanço do tempo após aplicação do herbicida as diferenças entre as cultivares aumentaram, de forma a melhor discriminá-las, sendo que a BRSMG Talismã, BRS Pérola, IPR Gralha, BRS Notável, IPR Uirapuru, IPR Tiziu, BRS Requite, UTF 10, IPR Curió e BRS Esplendor apresentaram os níveis mais elevados de tolerância ao herbicida saflufenacil, enquanto Jalo Precoce, BRS Estilo e IAC Milênio apresentaram os níveis mais baixos de tolerância aos 28 DAA (**Figura 5B**).

Vários estudos revelam a existência de níveis diferenciados de tolerância a herbicidas entre genótipos/cultivares de uma mesma espécie (SILVA et al., 2011). Por exemplo, em cana-de-açúcar houve tolerância diferencial aos herbicidas ametryn e trifloxysulfuron-sodium em pós-emergência (FERREIRA et al., 2005; GALON et al., 2009; GALON et al., 2010). Em mandioca, foi detectada tolerância diferencial entre cultivares aos herbicidas metribuzin, clomazone, e às mistura formuladas de ametryne + clomazone e ametryne + trifluralin em pós-emergência (OLIVEIRA et al., 2001). Em feijão, por exemplo, foi constatada diferenças de tolerância entre cultivares ao saflufenacil (SOLTANI et al., 2010; DIESEL et al., 2014), e ao sulfentrazone (HEKMAT et al., 2007), ambos aplicados em pré-emergência.

No que se refere a altura de plantas aos 14 DAA, observou-se que a maioria das cultivares apresentam valor alto e não diferiram, sendo a cultivar BRS Estilo a mais prejudicada, com altura inferior a 50% em relação à sua testemunha (**Figura 5C**). Entretanto, com a evolução do tempo e dos sintomas, a cultivar IAC

Milênio aos 28 DAA passou a apresentar a menor altura de planta, sendo inferior a 50% em relação à sua testemunha (**Figura 5D**).

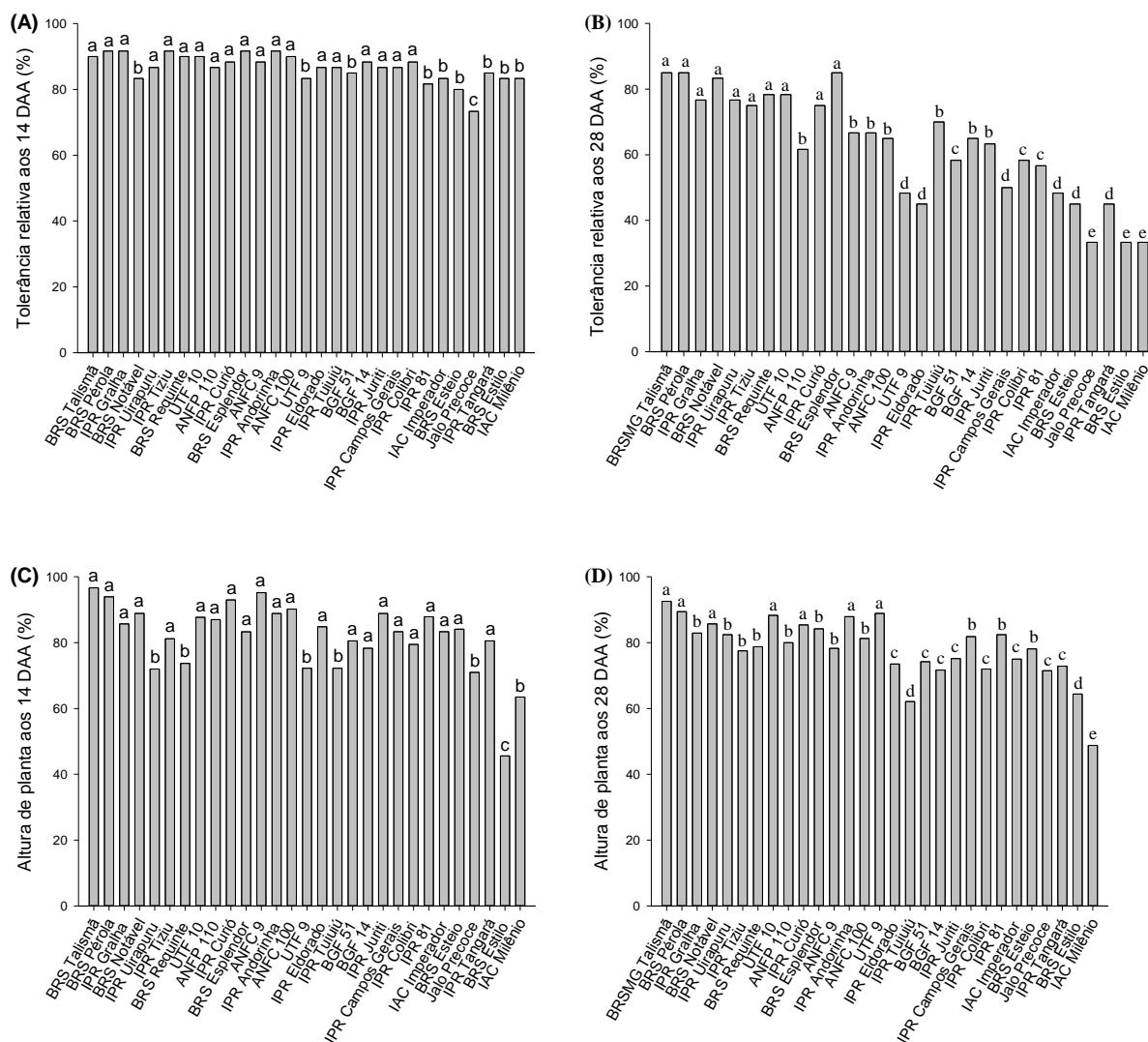


Figura 5 – Tolerância relativa aos 14 (A) e 28 DAA (B) e altura de planta aos 14 (C) e 28 DAA (D) de 20,5 g ha⁻¹ de saflufenacil em pré-emergência para as diferentes cultivares de feijão, em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott ($p < 0,05$).

As cultivares BRSMG Talismã, BRS Pérola, IPR Gralha, BRS Notável e IPR Uirapuru apresentaram os maiores valores para matéria verde da parte aérea (MVPA), atingindo valores superiores a 84%. Nas cultivares IAC Milênio, BRS Estilo, IPR Tangará, Jalo Precoc e BRS Esteio a MVPA foi muito reduzida, atingindo 26, 31, 37, 37 e 42% em relação à testemunha, respectivamente (**Figura 6A**).

Considerando tanto a tolerância relativa quanto a MVPA, as cultivares BRSMG Talismã, BRS Pérola e BRS Notável estiveram presentes na classe superior, sendo consideradas as mais tolerantes. De forma oposta, a cultivar mais sensível foi IAC Milênio.

A resposta da variável MVPA (% relativo à testemunha) ao saflufenacil (**Figura 6A**) foi utilizada como base para a seleção de cultivares de feijão a serem utilizadas na avaliação de tolerância a vários herbicidas inibidores da Protox (item a seguir). Classes definidas pelo agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott (**Figura 6A**) serviram como base para a seleção das seguintes cultivares em ordem decrescente de tolerância ao saflufenacil (**Figura 6B**): BRSMG Talismã, BRS Requite, IPR Curió, ANFC 100, IPR Tuiuiú, IPR Juriti, BRS Esteio e IAC Milênio.

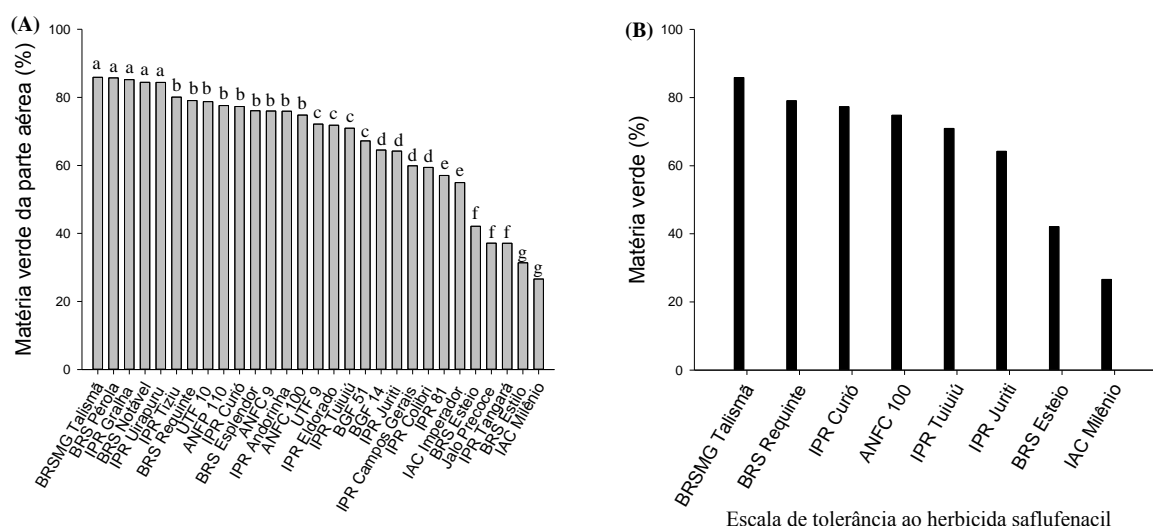


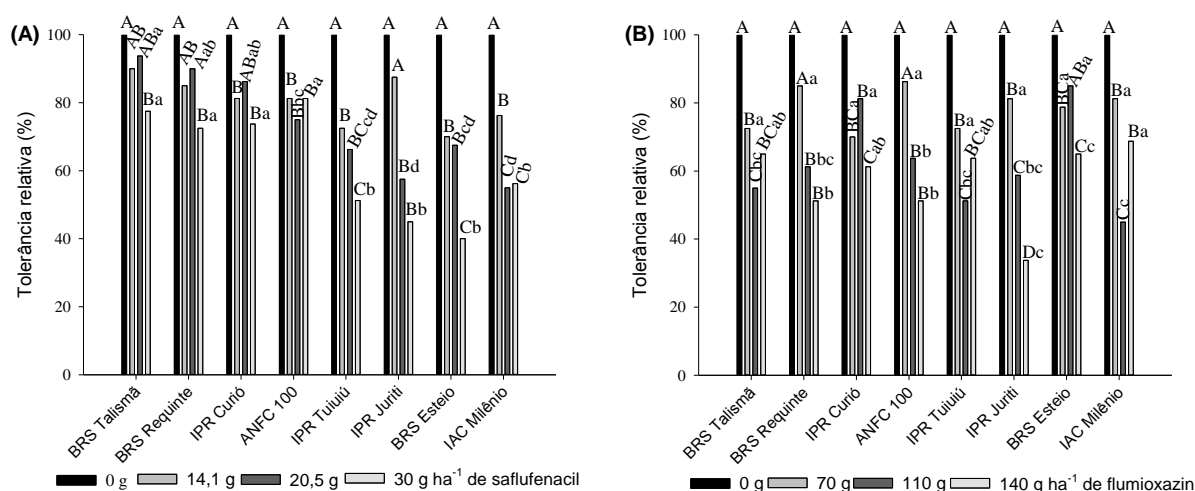
Figura 6 – Matéria verde da parte aérea (A) aos 28 DAA de 20,5 g ha⁻¹ de saflufenacil em pré-emergência para as diferentes cultivares de feijão, em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida. Escala de tolerância ao herbicida saflufenacil (B) com base na matéria verde da parte aérea aos 28 DAA. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de agrupamento de médias de Scott e Knott (p<0,05).

4.3 TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE FEIJÃO A INIBIDORES DA PROTOX EM PRÉ-EMERGÊNCIA

A tolerância das plantas de feijão a cada herbicida variou de acordo com a cultivar e com a dose utilizada. De forma geral, para os quatro herbicidas

testados, o aumento das doses proporcionou incremento da toxicidade às cultivares. Entretanto, comparando-se os tratamentos com e sem aplicação de herbicida, as menores diferenças de tolerância relativa ocorreram com a aplicação de fomesafen, o que indica a sua maior seletividade para todas as cultivares (**Figura 7A, B, C e D**).

Na avaliação de tolerância ao saflufenacil aos 14 DAA, considerando as três doses utilizadas, a cultivar BRSMG Talismã, BRS Requite e IPR Curió demonstraram elevados níveis de tolerância aos herbicidas saflufenacil (**Figura 7A**). As cultivares BRS Esteio e Curió destacaram-se pela maior tolerância ao flumioxazin (**Figura 7B**). As cultivares que se destacaram pela maior tolerância ao herbicida sulfentrazone nesta avaliação, considerando todas as doses, foram BRSMG Talismã e IPR Juriti (**Figura 7C**). Em relação ao herbicida fomesafen, foram detectadas poucas diferenças entre as cultivares, em função do elevado nível de seletividade conferido por este herbicida, em todas as doses (**Figura 7D**).



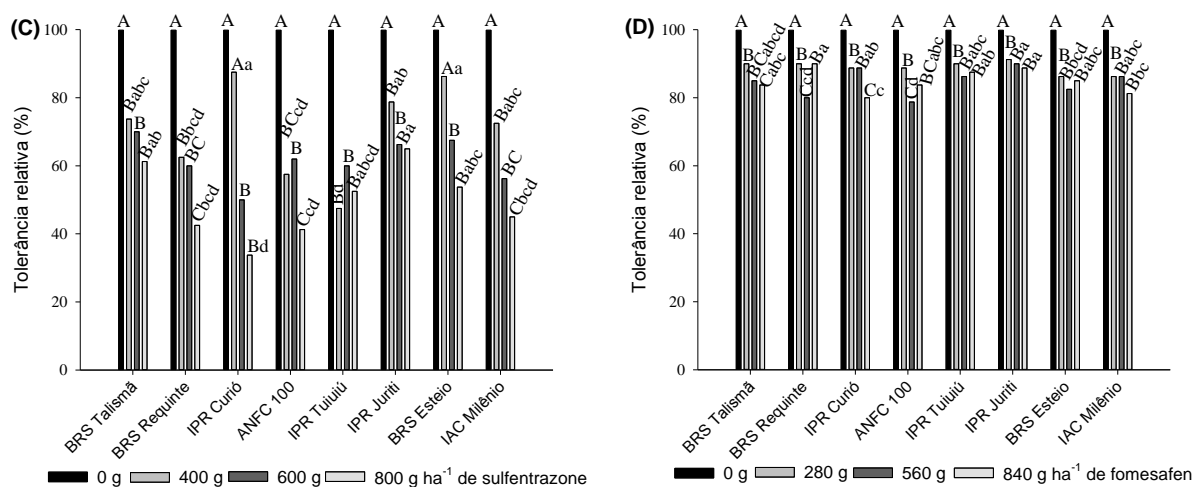


Figura 7 – Tolerância relativa aos 14 DAA de saflufenacil (A), flumioxazin (B), sulfentrazone (C) e fomesafen (D) em pré-emergência, em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula comparando doses e minúsculas comparando cultivares, não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

Aos 28 DAA, houve interação entre dose e cultivar apenas para os herbicidas flumioxazin e fomesafen. Nesta avaliação, a cultivar BRS Esteio, destacou-se pelos níveis de tolerância mais elevados ao flumioxazin (**Figura 8A**). Incrementos na fitotoxicidade aos 28 DAA em relação aos 14 DAA, também foram constatados para o fomesafen. No entanto, as cultivares apresentaram valores de tolerância mínima acima de 68% (**Figura 8B**), destacando-se pela maior tolerância as cultivares BRS Talismã e IPR Juriti (**Figura 8B**).

Em relação ao herbicida saflufenacil, se destacaram pela maior tolerância as cultivares BRSMG Talismã, BRS Requite e IPR Curió (**Figura 8C**), enquanto para sulfentrazone se destacaram BRSMG Talismã, IPR Juriti e BRS Esteio (**Figura 8C**). A tolerância relativa das plantas de feijão, na média das cultivares, foi reduzida com o aumento das doses tanto de saflufenacil quanto de sulfentrazone (**Figura 8D**).

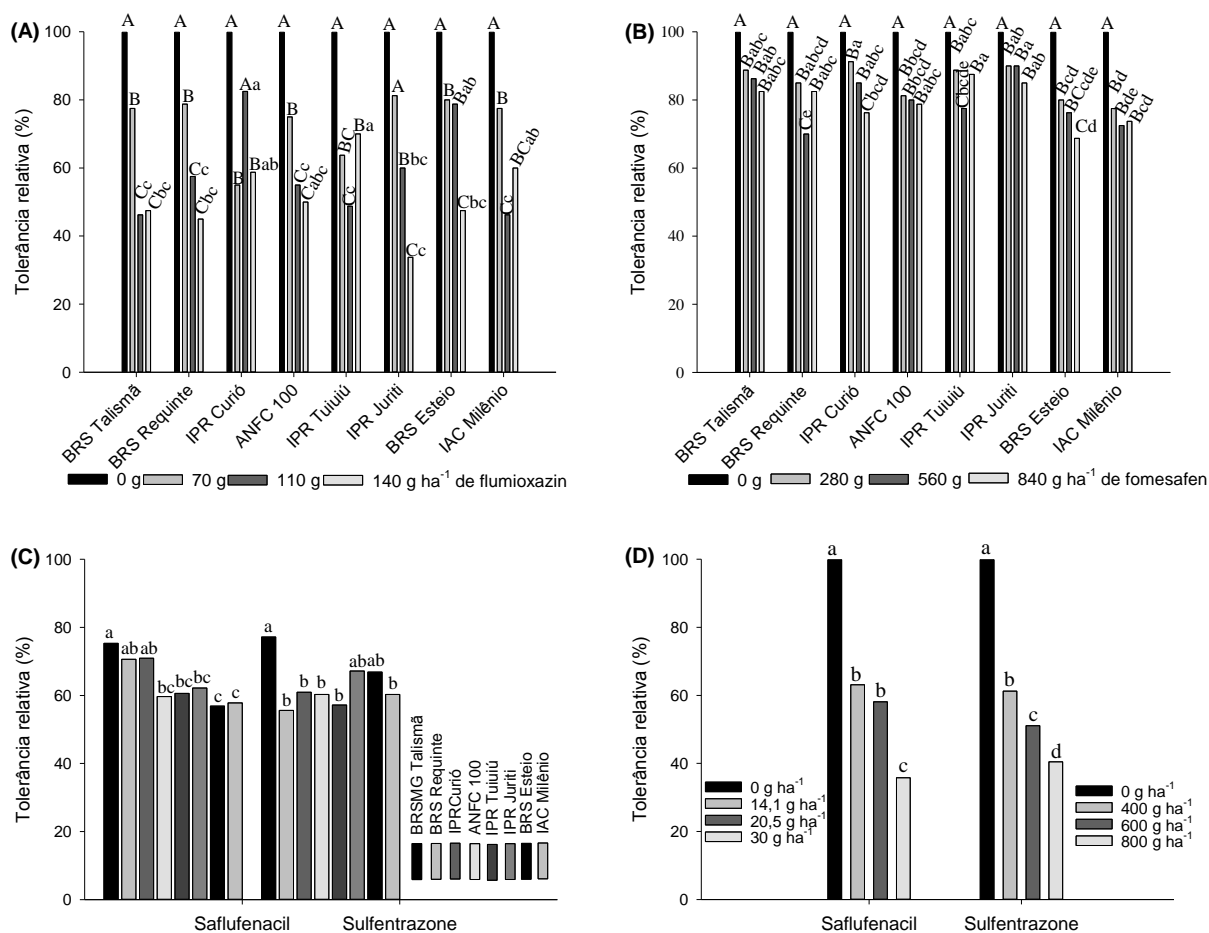


Figura 8 – Tolerância relativa aos 28 DAA de flumioxazin (A) e fomesafen (B), considerando doses e cultivares; tolerância das cultivares a saflufenacil e sulfentrazone, na média das doses (C); e tolerância em resposta a doses de saflufenacil e sulfentrazone, na média das cultivares (D) em pré-emergência, em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula comparando doses e minúsculas comparando cultivares, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$) (Figuras A e B). Médias seguidas pela mesma letra comparando cultivares dentro de herbicida ou dose dentro de herbicida não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$) (Figuras C e D).

A altura de planta aos 14 DAA de fomesafen foi dependente da cultivar, ressaltando-se a cultivar IAC Milênio que apresentou altura inferior conforme o aumento das doses, sendo inferior a 80% em relação à testemunha, na maior dose (**Figura 9A**). Para esta mesma variável, o comportamento das cultivares após aplicação de saflufenacil, flumioxazin e sulfentrazone foi dependente do herbicida, como pode-se observar com BRS Esteio em que após ser submetida ao flumioxazin e sulfentrazone permaneceu entre as cultivares com maior altura, mas quando submetida ao saflufenacil se situou entre as cultivares com menor altura (**Figura 9B**). Na média das cultivares para as doses, observou-se que o incremento na dose

proporcionou maiores efeitos negativos sobre o crescimento, resultando em menor altura de planta (**Figura 9C**).

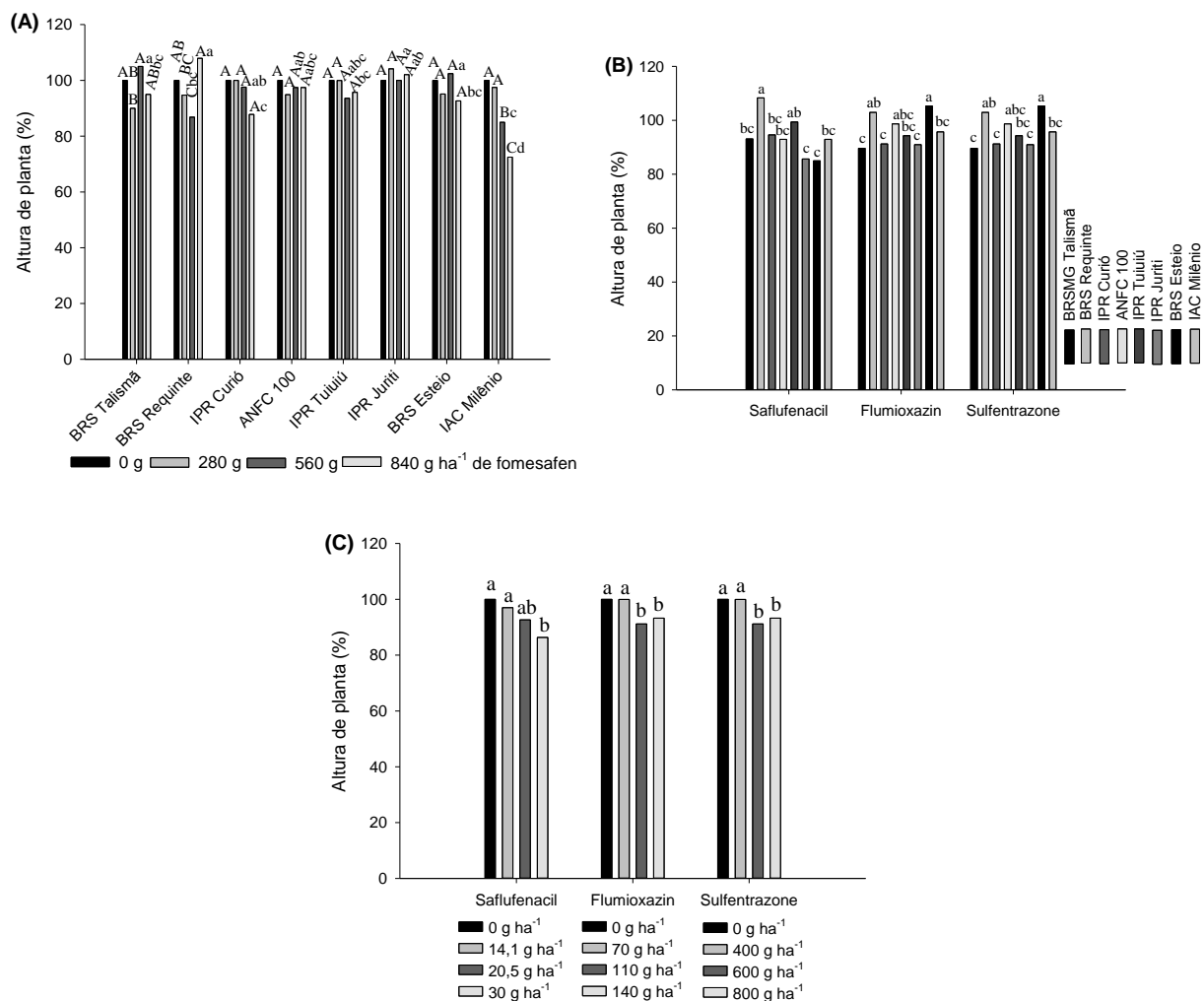


Figura 9 – Altura de planta aos 14 DAA com uso em pré-emergência de fomesafen (A), considerando doses e cultivares; com uso de saflufenacil, flumioxazin e sulfentrazone, na média das doses (B); e altura em resposta a doses de saflufenacil, flumioxazin e sulfentrazone, na média das cultivares (C), em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula comparando doses e minúsculas comparando cultivares, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$) (Figura A). Médias seguidas pela mesma letra comparando cultivares dentro de herbicida ou dose dentro de herbicida não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$) (Figuras B e C).

A altura de planta aos 28 DAA de saflufenacil foi diferente entre as cultivares, em que o aumento das doses proporcionou menor altura principalmente para as cultivares ANFC 100 (54,2%) e BRS Esteio (44,7%) na maior dose (**Figura 10A**). Na média das doses do herbicida sulfentrazone para as cultivares, maior altura foi constatada para a cultivar BRSMG Talismã (99,7%), que não diferiu estatisticamente apenas da BRS Esteio (87,3%) (**Figura 10B**). Para o herbicida

fomesafen as alturas de planta das diferentes cultivares ficaram mais próximas à testemunha, sendo IAC Milênio (87,2%) a mais prejudicada, não diferindo apenas da BRS Esteio (92,3%) (**Figura 10B**).

O aumento das doses do herbicida sulfentrazone resultou em menores valores de altura de plantas na média das cultivares, não havendo redução interferências superior sobre esta variável quando do aumento da dose de 600 (74,1%) para 800 g ha⁻¹ (74,5%) (**Figura 10C**). Já para o herbicida fomesafen, o aumento das doses não resultou em grandes diferenças na altura de planta, em que as doses efetivas não diferiram entre si, e apenas a dose de 280 e 840 g ha⁻¹ foram inferiores a testemunha sem aplicação (**Figura 10C**).

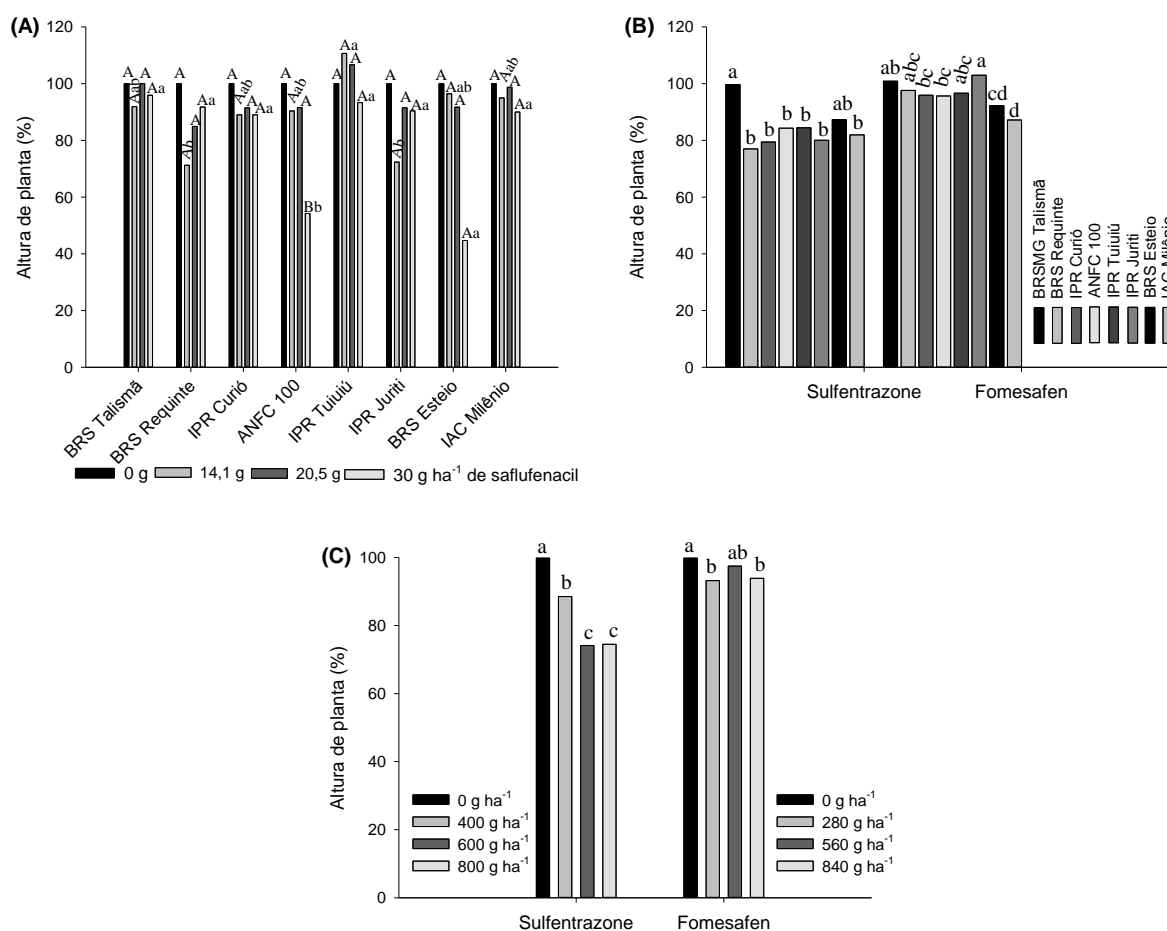


Figura 10 – Altura de planta aos 28 DAA de saflufenacil (A), considerando doses e cultivares; altura das cultivares a sulfentrazone e fomesafen, na média das doses (B); e altura em resposta a doses de sulfentrazone e fomesafen, na média das cultivares (C) em pré-emergência, em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula comparando doses e minúsculas comparando cultivares, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$) (Figura A). Médias seguidas pela mesma letra comparando cultivares dentro de herbicida ou dose dentro de herbicida não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$) (Figuras B e C).

Níveis diferenciados de tolerância de cultivares de feijão também foram relatados em trabalhos desenvolvidos com saflufenacil (SOLTANI et al., 2010; DIESEL et al., 2014) e sulfentrazone (HEKMAT et al., 2007). A tolerância diferencial de sulfentrazone em pré-emergência entre plantas de batata e das espécies daninhas *Chenopodium album* e *Datura stramonium* foi atribuída à absorção diferencial pelas raízes e a translocação diferencial de sulfentrazone das raízes para a parte aérea (BAILEY et al., 2003).

Na média das doses, a maior MVPA após aplicação de saflufenacil foi alcançada pela cultivar BRSMG Talismã, com 100% em relação à testemunha, sendo superior às demais cultivares, com exceção de ANFC 100 (91%) (**Figura 11A**). Para o herbicida flumioxazin as cultivares IPR Curió e IAC Milênio apresentaram a maior MVPA, de 89% em relação à testemunha, porém, diferiram apenas de BRS Requite e IPR Tuiuiú, com MVPA de 72 e 74%, respectivamente. Para o herbicida sulfentrazone, a MVPA das cultivares BRSMG Talismã e IPR Juriti foram de 93 e 89% respectivamente, destacando-se positivamente, porém diferindo apenas de ANFC 100 e BRS Esteio, com 68 e 70%, respectivamente. Para o herbicida fomesafen, as cultivares IPR Juriti, IPR Curió e BRS Requite apresentaram os maiores valores de MVPA (105, 103, 101%, respectivamente), diferindo apenas de BRSMG Talismã, BRS Esteio e IAC Milênio (87, 86 e 80%).

A cultivar BRSMG Talismã, que foi tolerante ao herbicida saflufenacil (29,4 g ha⁻¹) em experimento de campo realizado por Diesel et al. (2014), também apresentou tolerância nesse estudo a esse herbicida e à outros inibidores da Protox nos experimentos em casa vegetação.

Na média das cultivares, o herbicida fomesafen se destacou pela não existência de diferenças entre os tratamentos com e sem herbicida (qualquer dose) (**Figura 11B**). A utilização tanto de saflufenacil, quanto de sulfentrazone e flumioxazin afetou negativamente a MVPA das plantas, havendo resposta negativa ao incremento de dose com o uso dos herbicidas saflufenacil e sulfentrazone (**Figura 11B**).

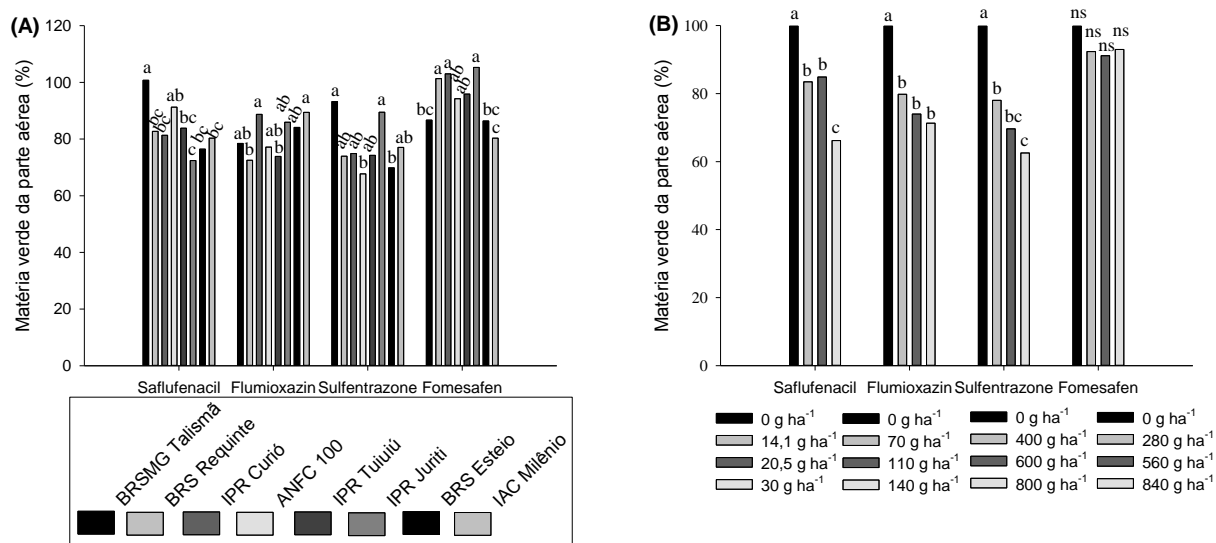


Figura 11 – Matéria verde da parte aérea (% relativa à testemunha), na média das doses, para oito cultivares de feijão (A) e média das cultivares para doses, em porcentagem relativa à testemunha sem herbicida (B) aos 28 DAA de saflufenacil, flumioxazin, sulfentrazone e fomesafen. Médias seguidas pela mesma letra comparando cultivares dentro de herbicida ou dose dentro de herbicida não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

Na média das doses, as maiores MSPA após aplicação de saflufenacil foram atingidas pelas cultivares BRSMG Talismã (100,5%), BRS Requite (86,5%), ANFC 100 (98,9%) e IPR Tuiuiú (89,1), que não diferiram entre si (**Figura 12A**). Para o herbicida flumioxazin as cultivares IPR Curió (94%) e BRS Esteio (92,7%) apresentaram a maior MSPA, não diferindo apenas das cultivares BRS Requite (81,6) e IAC Milênio (87,7%). Para o herbicida sulfentrazone, a maior MSPA foi apresentada pela cultivar BRSMG Talismã (97,5%), que não diferiu apenas das cultivares IPR Tuiuiú (79,6%) e IPR Juriti (88,4%). Para o herbicida fomesafen, da mesma forma que para a MSPA, as cultivares IPR Curió, BRS Requite e IPR Juriti apresentaram os maiores valores de MSPA (101,9, 101,2 e 98%, respectivamente), diferindo apenas de BRSMG Talismã, BRS Esteio e IAC Milênio (87, 86 e 80%).

Na média das cultivares, o incremento nas doses de saflufenacil proporcionou menor MSPA, que na maior dose foi de 71,1%, da mesma forma ocorreu para o sulfentrazone em que na maior dose foi de 57,4% (**Figura 12B**). Para os herbicidas flumioxazin e fomesafen diferenças significativas foram encontradas apenas entre a testemunha e as doses efetivas dos herbicidas, com MSPA na maior dose sendo de 71,8% e 84,2%, respectivamente.

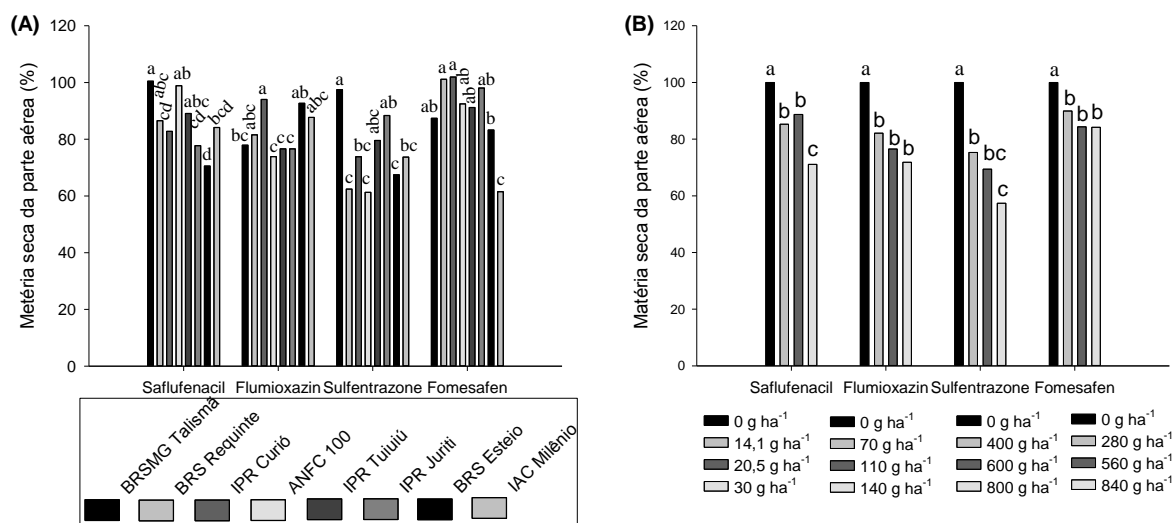


Figura 12 – Matéria seca da parte aérea (% relativa à testemunha), na média das doses, para oito cultivares de feijão (A) e média das cultivares para doses (B) aos 28 DAA de saflufenacil, flumioxazin, sulfentrazone e fomesafen. Médias seguidas pela mesma letra comparando cultivares dentro de herbicida ou dose dentro de herbicida não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

Considerando as três variáveis avaliadas, um resultado importante obtido no presente experimento foi à constatação da existência de níveis de tolerância distintos entre as cultivares dentro de cada herbicida inibidor da Protóx. Neste quesito, o herbicida que apresentou menor variação de seletividade entre cultivares foi o fomesafen.

Além disso, mesmo havendo diferenças entre cultivares, era importante esclarecer se a mesma ordem de seletividade conferida pelos distintos herbicidas dentro de uma cultivar, seria mantida para as demais cultivares. Quanto a este ponto, a modificação na cultivar resultou em mudança na ordem de seletividade dos herbicidas. Por exemplo, a cultivar BRSMG Talismã exibiu maiores níveis de tolerância aos herbicidas saflufenacil e sulfentrazone, portanto exibindo tolerância cruzada aos grupos químicos pirimidinonas e triazolinonas de inibidores da Protóx, e menor nível de tolerância ao flumioxazin (grupo das ftalamidas). Porém, a cultivar BRS Esteio esteve no grupo de maior nível de tolerância aos herbicidas flumioxazin e sulfentrazone, portanto com tolerância cruzada aos grupos químicos ftalamidas e triazolinonas, mas se inseriu no grupo com menor nível de tolerância ao herbicida saflufenacil.

Em resumo, não houve um padrão de tolerância cruzada entre todas as cultivares de feijão avaliadas. A existência de um padrão de tolerância cruzada entre cultivares facilitaria as indicações de manejo para os produtores de feijão e também facilitaria o desenvolvimento de pesquisas com melhoramento da tolerância de cultivares de feijão a herbicidas, já que ao melhorar a tolerância a um determinado herbicida, poderia-se inferir sobre a resposta daquela nova cultivar a distintos herbicidas dentro de um mesmo mecanismo de ação.

É importante destacar que os experimentos descritos no presente trabalho foram conduzidos em ambiente de casa-de-vegetação. A confirmação desses resultados com a condução de experimentos ao nível de campo, que permitiriam a determinação de características de desenvolvimento das cultivares de feijão até o final do ciclo de cultivo, bem como de componentes e do rendimento de grãos, seria extremamente importante. A tolerância de plantas a herbicidas é afetada por inúmeros fatores, dentre os quais características inerentes às plantas ou cultivar, características do herbicida, a dose à qual são expostas, às condições de ambiente (FERREIRA et al., 2005; HEKMAT et al., 2007; GALON et al., 2009; GALON et al., 2010; SOLTANI et al., 2010; OLIVEIRA Jr.; INOUE, 2011; SILVA et al., 2011; DIESEL et al., 2014). Em função disso, seria extremamente importante em futuros trabalhos, a avaliação de cultivares em diferentes condições de ambiente (solos, clima, etc.) e situações de estresses para as plantas, para obter maior segurança nos resultados apresentados.

Um dos grandes motivos que limitam a utilização de herbicidas pelos agricultores que cultivam feijão é a carência de informações de sua seletividade para diferentes cultivares. A detecção de variabilidade entre cultivares é importante para produtores e assistência técnica e também para a continuidade de trabalhos de pesquisa. As informações de tolerância são úteis à assistência técnica e a produtores, pois podem auxiliar no posicionamento de cultivares mais tolerantes aos herbicidas, extremamente útil para herbicidas com potencial para registro, para os quais ainda não existem informações suficientes sobre a seletividade a um grande número de cultivares. Além disso, a detecção de variabilidade de cultivares a herbicidas é importante para o desenvolvimento de trabalhos de pesquisa, que investiguem os mecanismos bioquímicos e genéticos envolvidos na tolerância.

4.4 SELETIVIDADE DE DOSES CRESCENTES DE SAFLUFENACIL E SULFENTRAZONE SOBRE CULTIVARES DE FEIJÃO E EFICÁCIA NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS

4.4.1 Experimentos conduzidos em Pato Branco

Neste local foi conduzido um experimento sem plantas daninhas (SPD) com as cultivares de feijão BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú, fornecendo resultados isolados para a fitotoxicidade dos herbicidas saflufenacil e sulfentrazone nas diferentes doses. Um segundo experimento foi conduzido com plantas daninhas (CPD), em densidade de 135 plantas m^{-2} (aos 28 DAA) na média das quatro testemunhas sem herbicida, para as mesmas cultivares de feijão, herbicidas e doses, fornecendo resultados de interação entre a fitotoxicidade e o efeito das plantas daninhas.

4.4.1.1 Seletividade às cultivares de feijão

A tolerância relativa (TR) aos 14 DAA dos herbicidas saflufenacil e sulfentrazone no experimento SPD e CPD foi similar para os tratamentos, havendo redução da tolerância das cultivares de feijão principalmente com a elevação das doses acima da considerada padrão, 35 $g\ ha^{-1}$ de saflufenacil e 600 $g\ ha^{-1}$ de sulfentrazone (**Figura 13A e B**). A cultivar BRSMG Talismã mostrou-se mais tolerante do que a IPR Tuiuiú, principalmente a partir da dose padrão de cada herbicida. A BRSMG Talismã apresentou níveis de TR acima de 80% nos experimentos SPD e CPD mesmo na maior dose de sulfentrazone (900 $g\ ha^{-1}$). A IPR Tuiuiú demonstrou-se tolerante até 23,3 $g\ ha^{-1}$ de saflufenacil e 400 $g\ ha^{-1}$ de sulfentrazone, resultando em alta dose necessária para reduzir 50% a variável (D_{50}), maior que 52,5 $g\ ha^{-1}$ de saflufenacil e 900 $g\ ha^{-1}$ de sulfentrazone (**Tabela 5**). No entanto, houve drástica redução na TR com a elevação das doses. Na dose de 52,5 $g\ ha^{-1}$ de saflufenacil sua TR foi reduzida a níveis inferiores a 15% no experimento SPD e CPD, resultando em baixo D_{50} , apenas 37,1 e 31,7 $g\ ha^{-1}$ de sulfentrazone, respectivamente.

Houve evolução dos sintomas aos 28 DAA, com redução na TR principalmente quando acima da dose padrão (**Figura 13C e D**). A cultivar IPR Tuiuí teve TR muito reduzida ainda com 23,3 g ha⁻¹ de saflufenacil e a partir de 600 g ha⁻¹ de sulfentrazone, em ambos os experimentos SPD e CPD. Isso resultou em D₅₀ de 30,4 e 26,3 g ha⁻¹ de saflufenacil e 26,3 e 636 g ha⁻¹ de sulfentrazone no experimento SPD e CPD, respectivamente (**Tabela 5**). Novamente, BRSMG Talismã mostrou-se mais tolerante aos herbicidas, com níveis superiores a 80% mesmo em 900 g ha⁻¹ sulfentrazone, conferindo D₅₀ superior a dose padrão de saflufenacil e superior a 900 g ha⁻¹ de sulfentrazone, em ambos os experimentos SPD e CPD.

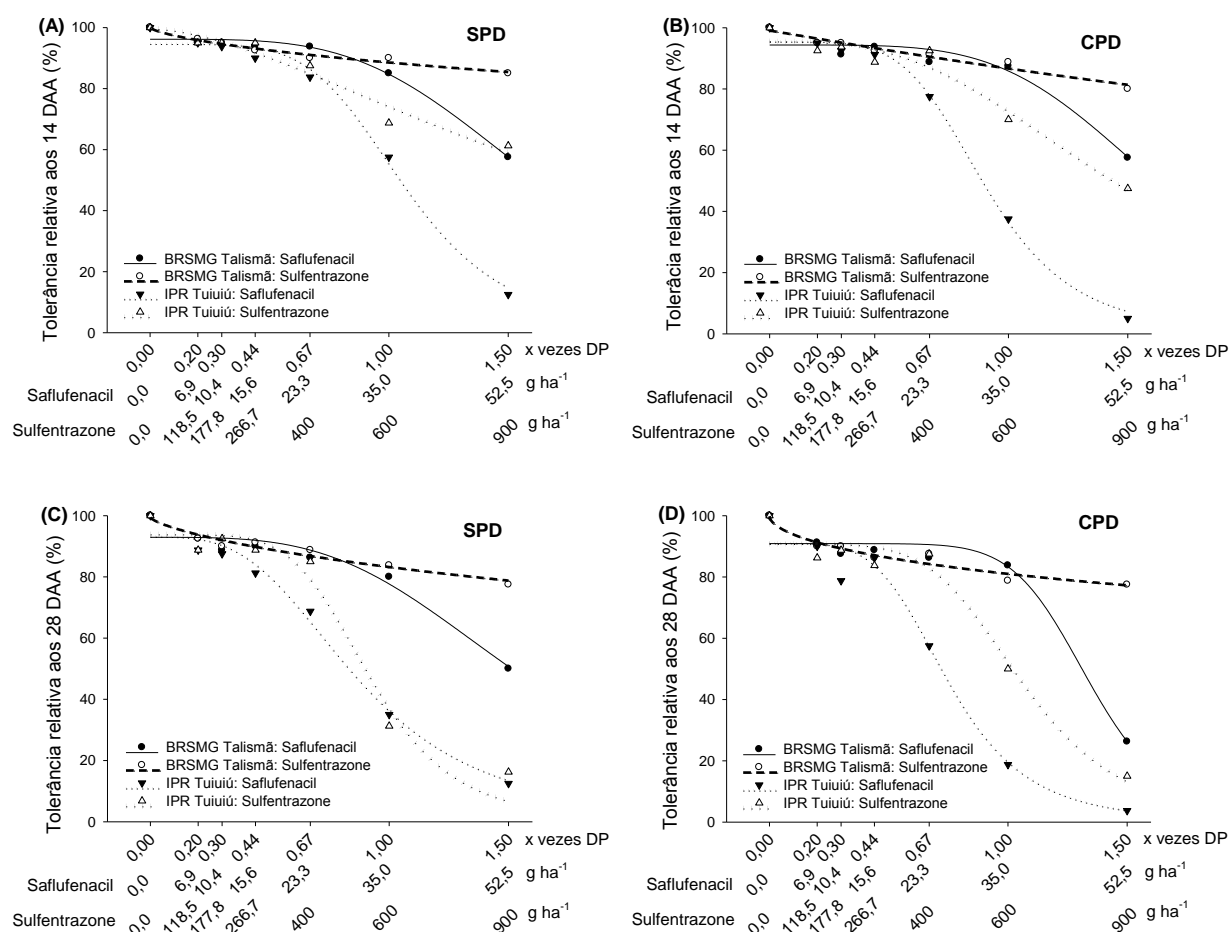


Figura 13 – Tolerância relativa (% relativa à testemunha) das cultivares de feijão no experimento sem plantas daninhas (SPD) aos 14 (A) e 28 DAA (C) e no experimento com plantas daninhas (CPD) aos 14 (B) e 28 DAA (D), considerando a interação entre cultivar, herbicida e dose. DP: dose padrão.

Entre os sintomas observados no feijão na presença de saflufenacil em ambas as cultivares houve lesão no hipocótilo e poucos pontos de necrose nas folhas, sintomas que evoluíram com o aumento das doses, resultando na mortalidade de plantas principalmente nas doses de 35 e 52,5 g ha⁻¹ mesmo para a cultivar mais tolerante BRSMG Talismã e ainda em doses inferiores na IPR Tuiuiú. Entretanto, sulfentrazone ocasionou apenas encarquilhamento das folhas, que aumentou com a elevação das doses e foi mais evidente na cultivar IPR Tuiuiú.

Em dose de 50 g ha⁻¹ de saflufenacil aplicado sobre o solo revolvido após a implantação da cultura do feijão, Soltani, Shropshire e Sikkema (2018), constataram fitotoxicidade de 13, 14 e 32% em feijão “Kidney”, “Small red” e “White”, respectivamente, equivalendo a 87, 86 e 68% de tolerância relativa. Na média das doses de 420 e 840 g ha⁻¹ de sulfentrazone em pré-emergência do feijão, Hekmat et al. (2007), constataram baixa fitotoxicidade, de apenas de 16,6, 7, 17,6, 15,9, 13,9, 9,2, 17,9 e 13,1%, respectivamente, para as classes “Black”, “Brown”, “Cranberry”, “Kidney”, “Otebo”, “Pinto”, “White” e “Yellow eye”. Em aplicação de 280 g ha⁻¹ de sulfentrazone Soltani, Shropshire e Sikkema (2014), observaram mínima fitotoxicidade para as classes de feijão “Black”, “Cranberry”, “Kidney” e “White”, apenas de 11, 11, 5 e 19%, respectivamente, não sendo observada redução do rendimento de grãos.

Tabela 5 - Parâmetros da equação⁽¹⁾, coeficiente de determinação (R²) e probabilidade (p) para a variável tolerância relativa (% relativa à testemunha) das cultivares de feijão no experimento sem (SPD) e com plantas daninhas (CPD).

Variável	Tratamento	Parâmetros				R ²	p	
		a	b	D ₅₀	D _{50 ia}			
Tolerância relativa aos 14 DAA	SPD	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 96,187	3,948	>1,5	>52,5	0,97	0,0003
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 100,063	0,679	>1,5	>900	0,96	0,0008
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 94,660	5,006	1,06	37,1	0,98	<0,0001
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 99,642	1,704	>1,5	>900	0,94	0,0018
	CPD	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 94,373	4,572	>1,5	>52,5	0,92	0,0028
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 99,047	1,036	>1,5	>900	0,93	0,0020
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 95,481	4,919	0,905	31,7	0,99	<0,0001
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 95,569	2,927	>1,5	>900	0,94	0,0016
Tolerância relativa aos 28 DAA	SPD	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 92,927	3,563	>1,5	>52,5	0,92	0,0027
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 99,404	0,731	>1,5	>900	0,93	0,0021
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 93,127	3,257	0,869	30,4	0,98	0,0002
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 93,924	5,259	0,920	552	0,95	0,0012
	CPD	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 90,887	8,139	1,343	47,0	0,95	0,0011
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 99,844	0,562	>1,5	>900	0,92	0,0029
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 91,008	4,541	0,751	26,3	0,96	0,0006
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 90,819	5,099	1,060	636	0,95	0,0011

¹Equação sigmoideal logística de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. $D_{50\text{ ia}}$ = dose de ingrediente ativo (g ha^{-1}) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

Nas duas maiores doses o herbicida saflufenacil proporcionou maior redução da TR e redução do estande de plantas (**Figura 14A e B**). A menor densidade foi observada na IPR Tuiuiú, de 3,8 e 3,75 plantas por m^{-2} no experimento SPD e CPD, respectivamente. Este impacto negativo na densidade foi resultante da alta fitotoxicidade deste herbicida a IPR Tuiuiú, gerando D_{50} de 46,8 e 42,9 g ha^{-1} no SPD e CPD, respectivamente. Enquanto isso, o D_{50} nos demais tratamentos foi superior a dose máxima testada (**Tabela 6**).

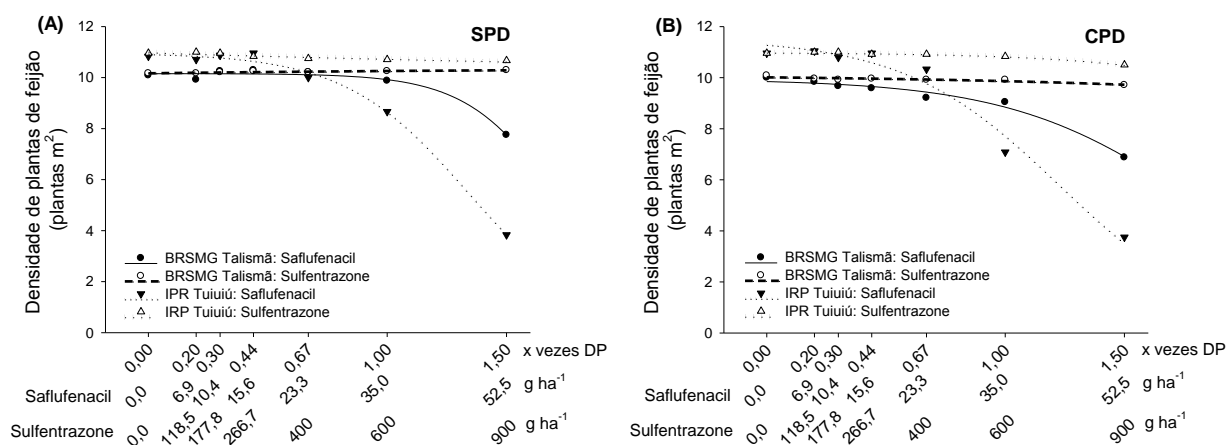


Figura 14 – Densidade de plantas de feijão (plantas m^{-2}) no experimento sem plantas daninhas (SPD) (A) e com plantas daninhas (CPD) (B), considerando a interação entre cultivar, herbicida e dose. DP: dose padrão.

A densidade da BRSMG Talismã foi reduzida na maior dose para 7,7 e 6,9 plantas por m^{-2} no SPD e CPD, respectivamente. Entretanto, embora tenha havido redução na TR o herbicida sulfentrazone mesmo nas doses de 600 e 900 g ha^{-1} não resultou em redução da densidade de plantas, sendo levemente superior na IPR Tuiuiú, para SPD e CPD.

Alta mortalidade de plantas com 50 g ha^{-1} de saflufenacil aplicado sobre o solo revolvido, após a implantação da cultura do feijão foi constatada por Soltani, Shropshire e Sikkema (2018), sendo de 8, 11 e 7 plantas m^{-1} , enquanto que na testemunha sem herbicida foi de 12, 16 e 18 plantas m^{-1} para feijão “Kidney”, “Small red” e “White”, respectivamente. A altura de planta também foi comprometida

quando empregado 100 g ha⁻¹ de saflufenacil em pré-emergência, sendo de 75, 17, 33 e 24% e quando a 200 g ha⁻¹ de saflufenacil foi de 37, 8, 12 e 11% em relação à testemunha para feijão “Adzuki”, “Cranberry”, “Lima”, “Snap” e “White”, respectivamente (SOLTANI; SHROPSHIRE; SIKKEMA, 2010).

Tabela 6 – Parâmetros das equações^{ab}, coeficiente de determinação (R²) e probabilidade (p) para a variável densidade de plantas de feijão (plantas m⁻²) no experimento sem (SPD) e com plantas daninhas (CPD).

Variável	Tratamento	Parâmetros				R ²	p	
		a	b	D ₅₀	D ₅₀ ia			
Densidade de plantas de feijão	SPD	BRSMG Talismã: Saflufenacil	² 10,155	-0,194	>1,5	>52,5	0,97	0,0005
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	² 10,379	1,791	-6,921	>900	0,69	0,0419
	CPD	IPR Tuiuiú: Saflufenacil	² 10,982	-0,259	1,338	46,8	0,99	<0,0001
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 10,996	0,870	>1,5	>900	0,78	0,0222
	CPD	BRSMG Talismã: Saflufenacil	² 9,945	-0,396	>1,5	>52,5	0,97	0,0003
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	² 10,110	-1,076	>1,5	>900	0,73	0,0327
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	² 11,551	-0,327	1,227	42,9	0,97	0,0005
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	² 11,003	-0,455	>1,5	>900	0,97	0,0004

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros; ²Equação sigmoidal sigmoide de 3 parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D₅₀= dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. D₅₀ ia= dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

A elevação das doses dos herbicidas reduziu a MSPA do feijão no SPD, sendo menos afetada pelo herbicida sulfentrazone, principalmente até a dose de 600 g ha⁻¹, permanecendo acima de 80% (**Figura 15A**). A partir da dose de 15,6 g ha⁻¹ de saflufenacil os valores de MSPA foram inferiores a 80%. Tanto para a BRSMG Talismã quanto para IPR Tuiuiú, a MSPA foi reduzida em resposta à elevação das doses, sendo de 60,8 e 67,9% na maior dose, respectivamente (**Figura 15B**). Na média das doses, na BRSMG Talismã, esta variável foi reduzida a cerca de 90% com aplicação de saflufenacil, não havendo diferenças para o sulfentrazone (**Figura 15C**). Diferenças entre os herbicidas para cada cultivar só foi significativa para o IPR Tuiuiú, em que sulfentrazone gerou menor redução na MSPA. Enquanto isso, o D₅₀ nos demais tratamentos foi superior a dose máxima testada (**Tabela 7**).

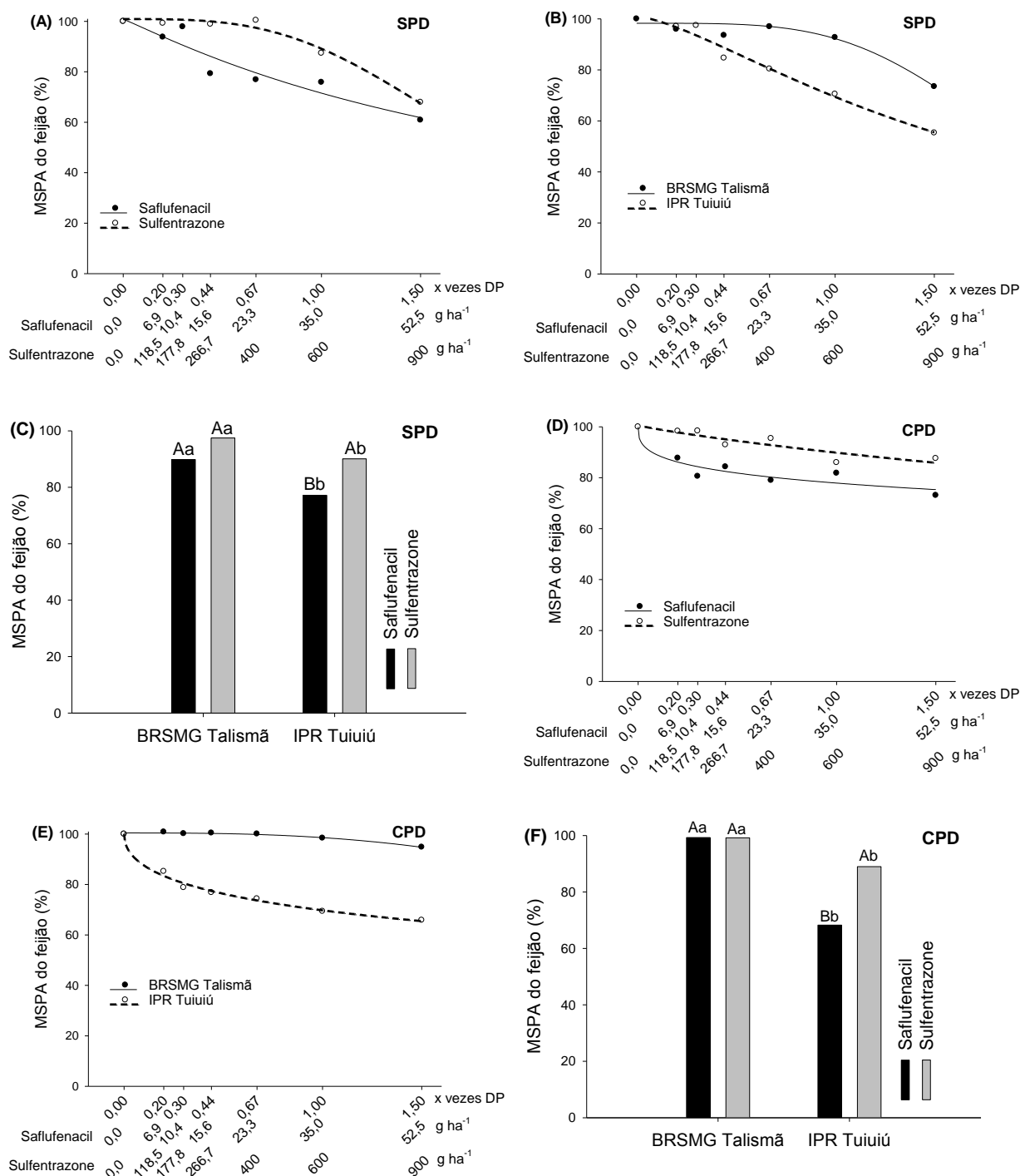


Figura 15 – Matéria seca da parte aérea do feijão (% relativa à testemunha) considerando a interação entre dose e cultivar (A e D), entre cultivar e dose (B e E) e entre cultivar e herbicida (C e F), respectivamente, no experimento sem (SPD) e com plantas daninhas (CPD) aos 28 DAA. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula comparando herbicidas dentro de cultivar e minúsculas comparando cultivares dentro de herbicidas, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). DP: dose padrão.

No experimento CPD, observou-se comportamento para os herbicidas (Figura 15D) e cultivares (Figura 15E) semelhante ao constatado no experimento

SPD, com exceção de menor MSPA de IPR Tuiuiú (68,3%) quando submetida ao herbicida saflufenacil (**Figura 15F**). Em todas as interações envolvendo a variável MSPA o D_{50} foi superior a maior dose avaliada de cada herbicida.

Em pré-emergência, 50 g ha⁻¹ saflufenacil gerou redução na MSPA em 65% para feijão Kidney e 80% para feijão branco, em relação à testemunha não tratada (SOLTANI; SHROPSHIRE; SIKKEMA, 2018). Nesta mesma modalidade de aplicação, 200 g ha⁻¹ saflufenacil resultaram em drástica redução da MSPA, sendo de 8, 1, 1 e 1% em relação ao controle não tratado, respectivamente, para feijão “Adzuki”, “Cranberry”, “Lima”, “Snap” e “White” (SOLTANI; SHROPSHIRE; SIKKEMA, 2010).

Tabela 7 - Parâmetros da equação⁽¹⁾, coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável matéria seca da parte aérea (MSPA) do feijão (% relativa à testemunha) aos 28 DAA no experimento sem (SPD) e com plantas daninhas (CPD).

Variável	Tratamento	Parâmetros				R^2	p	
		a	b	D_{50}	$D_{50\text{ ia}}$			
MSPA do feijão	SPD	Saflufenacil	¹ 100,837	100,837	>1,5	>52,5	0,84	0,0110
		Sulfentrazone	¹ 100,897	100,897	>1,5	>900	0,97	0,0005
		BRSMG Talismã	¹ 98,268	4,050	>1,5	-	0,86	1,9635
		IPR Tuiuiú	¹ 100,914	1,452	>1,5	-	0,97	0,0004
	CPD	Saflufenacil	¹ 99,965	0,353	>1,5	>52,5	0,85	0,0095
		Sulfentrazone	¹ 100,569	0,889	>1,5	>900	0,73	0,0328
		BRSMG Talismã	¹ 100,431	2,847	>1,5	-	0,97	0,0004
		IPR Tuiuiú	¹ 100,084	0,482	>1,5	-	0,98	<0,0001

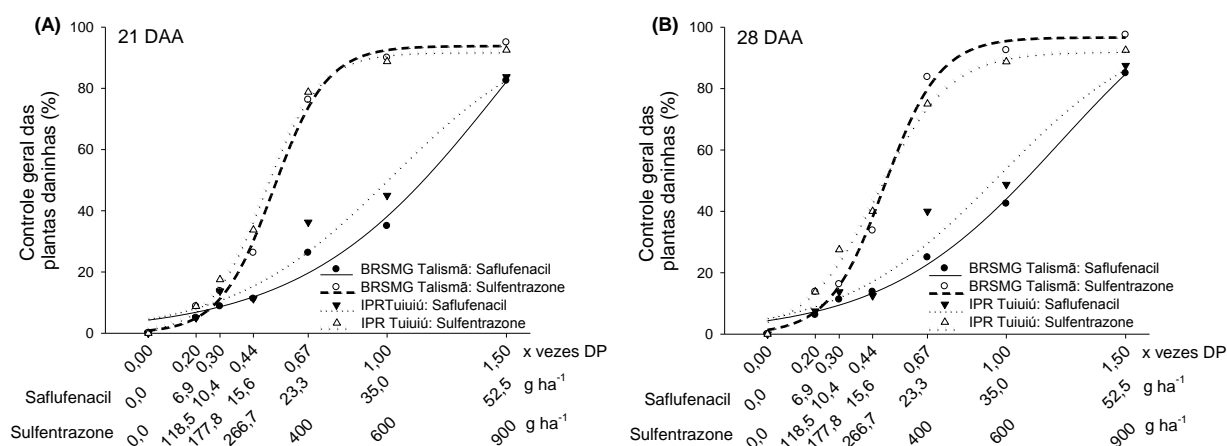
¹Equação sigmoideal logística de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. $D_{50\text{ ia}}$ = dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

4.4.1.2 Controle de plantas daninhas

Os níveis de controle geral das plantas daninhas (experimento CPD) aos 21 DAA foram maiores com o herbicida sulfentrazone, ficando acima de 75% nas cultivares BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú, ainda com 400 g ha⁻¹, respectivamente, alcançando próximo a 100% na dose de 900 g ha⁻¹ (**Figura 16A**). Entretanto, controle eficiente com saflufenacil ocorreu apenas com 52,5 g ha⁻¹, sendo superior a 80% em ambas as cultivares. Estes níveis de controle observados aos 21 DAA se mantiveram na avaliação aos 28 DAA, não aumento incremento considerável neste intervalo de sete dias, indicando que os herbicidas controlaram as plantas daninhas impedindo o surgimento de novos fluxos de emergência (**Figura 16B**).

Os alto níveis de controle observados para sulfentrazone resultaram em D_{50} baixos, apenas 314,4 e 291,6 g ha^{-1} para as cultivares BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú, respectivamente, muito inferiores a dose padrão de 600 g ha^{-1} . Enquanto que o D_{50} para saflufenacil foi igual ou superior a dose padrão (35 g ha^{-1}), 51,8 e 35 g ha^{-1} para as cultivares BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú, respectivamente (**Tabela 8**). O fato dos níveis de controle e comportamento das curvas aos 21 DAA serem similares aos 28 DAA fez com que os valores de D_{50} na avaliação aos 28 DAA fosse também similar aos 21 DAA.

As densidades das plantas daninhas aos 21 e 28 DAA foram elevadas, atingindo aproximadamente 140 plantas m^{-2} nas testemunhas sem herbicida (**Figura 16C e D**). Os níveis de controles das plantas daninhas apresentaram reflexos na densidade das plantas daninhas, que foi reduzida com a elevação das doses de cada herbicida aos 21 DAA (**Figura 16C**). Diferenças pronunciadas na densidade foram observadas com a dose de 900 g ha^{-1} de sulfentrazone, que proporcionou redução a níveis inferiores a 25 plantas m^{-2} em BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú. O herbicida saflufenacil também provocou importante redução na densidade, porém com menor eficiência, reduzindo para cerca de 30 plantas m^{-2} em ambas as cultivares. As densidades observadas na avaliações aos 21 DAA se mantiveram na avaliação aos 28 DAA, indicando que o efeito residual destes herbicidas é importante para a ausência de novos fluxos de emergência (**Figura 16D**).



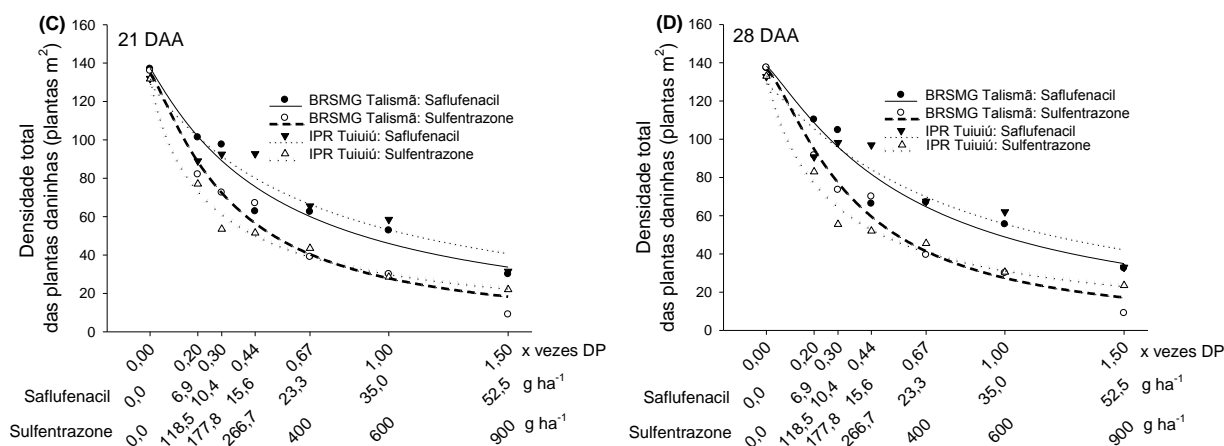


Figura 16 – Controle geral das plantas daninhas (%) aos 21 (A) e 28 DAA (B) e densidade de plantas daninhas aos 21 (C) e 28 DAA (D), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.

Ambos os herbicidas proporcionaram redução na densidade geral das plantas daninhas. Os valores de D_{50} para sulfentrazone foram baixos, sendo de 203,4 e 152,4 g ha⁻¹ aos 21 DAA e de 219,0 e 166,8 g ha⁻¹ aos 28 DAA, respectivamente, para BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú. Saflufenacil resultou em D_{50} de 18,6 e 24,9 g ha⁻¹ aos 21 DAA e 21,0 e 27,3 g ha⁻¹ aos 28 DAA, respectivamente, para BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú (**Tabela 8**).

É importante destacar que a dose de 52,5 g ha⁻¹ de saflufenacil necessária para atingir nível satisfatório de controle das plantas daninhas não foi seletiva para as cultivares avaliadas, enquanto que a dose de 400 g ha⁻¹ sulfentrazone apresentou nível satisfatório de controle das plantas daninhas e foi seletiva para as cultivares BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú (**Figura 13A**). Entretanto, a densidade de plantas daninhas nesta dose de sulfentrazone permaneceu alta (próxima a 40 plantas m⁻²), sendo a máxima redução obtida na dose de 900 g ha⁻¹ (**Figura 16C e D**).

Em uma comparação visual entre os dois períodos de avaliação de densidade de plantas daninhas, observa-se comportamento muito similar, em que algumas poucas plântulas emergiram entre 21 e 28 DAA, indicando tanto para saflufenacil quanto para sulfentrazone que o fluxo de emergência que eventualmente escapa da ação do herbicida será responsável por constituir a densidade de plantas daninhas que exercerá competição ao longo do desenvolvimento da cultura.

A necessidade de doses elevadas para reduzir drasticamente a densidade de plantas daninhas pode ter sido influenciada pelas condições climáticas nos 8 dias após a implantação do experimento, em que a precipitação acumulada foi elevada (129,2 mm) (**Figura 1**). Isso pode ter favorecido a entrada do herbicida na solução do solo e seu deslocamento no perfil gerando processo de lixiviação, além de escoamento superficial em detrimento dos grandes volumes de chuvas registrados nos dias 13/02 (34,4 mm) e 14/02 (40,2 mm) após o solo já estar muito úmido devido aos 54,6 mm acumulados entre dia 07/02 a 12/02. Sob alta umidade no solo, as plantas daninhas apresentam melhores índices de germinação, o que contribuiu para sua elevada densidade.

Além disso, o solo de Pato Branco contém elevado teor de matéria orgânica (49,59 g dm⁻³), equivalente a 5%. A afinidade de saflufenacil cresce com o aumento do teor de matéria orgânica, reduzindo assim a quantidade de herbicida presente na solução do solo capaz de exercer atividade herbicida (MONQUERO et al., 2012). A menor quantidade de herbicida na camada superficial do solo associada a grande população de sementes viáveis emergindo, pode ter contribuído para redução dos níveis de eficiência dos herbicidas, e de elevada densidade de plantas daninhas.

A elevada densidade de plantas daninhas (~140 plantas m⁻²) presentes no tratamento sem herbicidas aos 21 e 28 DAA, influenciaram para que, apenas em doses elevadas dos herbicidas, houvesse adequada redução da densidade. Ressalta-se que, em lavouras onde vem sendo empregado sistema de manejo que proporcione baixas densidades de plantas daninhas, doses inferiores à maior dose utilizada neste trabalho poderiam resultar em níveis maiores de controle, com maior redução na densidade de plantas.

Tabela 8 - Parâmetros das equações^(1,2), coeficiente de determinação (R²) e probabilidade (p) para as variáveis controle geral das plantas daninhas (%) e densidade de plantas daninhas (plantas m⁻²) aos 21 e 28 DAA.

Variável	Tratamento	Parâmetros				R ²	p	
		a	b	D ₅₀	D _{50 ia}			
Controle geral das plantas daninhas	21 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 160,268	0,411	1,479	51,8	0,98	0,0002
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 93,820	0,112	0,524	314,4	0,99	<0,0001
	28 DAA	IPR Tuiuiu: Saflufenacil	² 102,620	0,336	1,018	35,6	0,95	0,0011
		IPR Tuiuiu: Sulfentrazone	² 91,801	0,115	0,486	291,6	0,99	<0,0001
Controle geral das plantas daninhas	28 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	² 125,224	0,369	1,226	42,9	0,99	<0,0001
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	² 96,651	0,115	0,489	293,4	0,99	<0,0001

		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	² 103,588	0,329	0,968	33,9	0,95	0,0011
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	² 92,078	0,149	0,460	276,0	0,99	<0,0001
Densidade geral das plantas daninhas	21 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 137,274	1,081	0,531	18,6	0,96	0,0015
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 134,738	1,242	0,339	203,4	0,96	0,0006
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 129,221	1,027	0,710	24,9	0,89	0,0052
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 131,848	0,890	0,254	152,4	0,98	0,0001
	28 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 138,199	138,199	0,601	21,0	0,93	0,0022
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 136,386	1,371	0,365	219,0	0,97	0,0004
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 129,136	1,098	0,780	27,3	0,87	0,0075
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 133,275	0,925	0,278	166,8	0,97	0,0003

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros; ²Equação sigmoidal sigmoide de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D₅₀= dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. D₅₀ ia= dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

O nível de controle aos 21 DAA para a espécie *E. heterophylla* foi eficiente com sulfentrazone a partir da dose de 400 g ha⁻¹, ficando superior a 80% e quase 100% na maior dose, para ambas as cultivares (**Figura 17A**). O herbicida saflufenacil proporcionou incremento no controle desta espécie com a elevação das doses, contudo, apresentou nível satisfatório de controle apenas na maior dose (52,5 g ha⁻¹), mas não atingindo 80% para ambas as cultivares, sendo inferior aos níveis obtidos com sulfentrazone. Aos 28 DAA os níveis de controle se mantiveram superiores com sulfentrazone, mais de 80% a partir de 400 g ha⁻¹ e para saflufenacil o controle ficou inferior a 80% para ambas as cultivares (**Figura 17B**).

Os maiores níveis de controle observados para sulfentrazone resultaram em menores densidades desta planta daninha, que se situaram abaixo de 10 plantas m⁻² a partir de 400 g ha⁻¹, enquanto a redução a mesmo nível de densidade com saflufenacil só foi possível com 52,5 g ha⁻¹, para ambas as cultivares (**Figura 17C**). Aos 28 DAA o comportamento da densidade para os herbicidas foi similar a avaliação aos 21 DAA (**Figura 17D**). Os níveis altos de controle de *E. heterophylla* com 600 g ha⁻¹ de sulfentrazone demonstram eficiência desse herbicida, que possui recomendação na pré-emergência desta daninha e da cultura da soja nesta mesma dose (FMC, 2017).

Nesta mesma modalidade de aplicação, em pré-emergência da cana-de-açúcar e da espécie daninha, sulfentrazone (600 g ha⁻¹) exerceu 76,7% de controle de *E. heterophylla* (AZANIA et al., 2009). Quando este herbicida foi associado a diuron (936 g ha⁻¹) e hexazinone (264 g ha⁻¹) o controle foi de 73% e

quando sulfentrazone (500 g ha^{-1}) foi associado a amicarbazone (700 g ha^{-1}) o nível de controle foi de 82% (AZANIA et al., 2009).

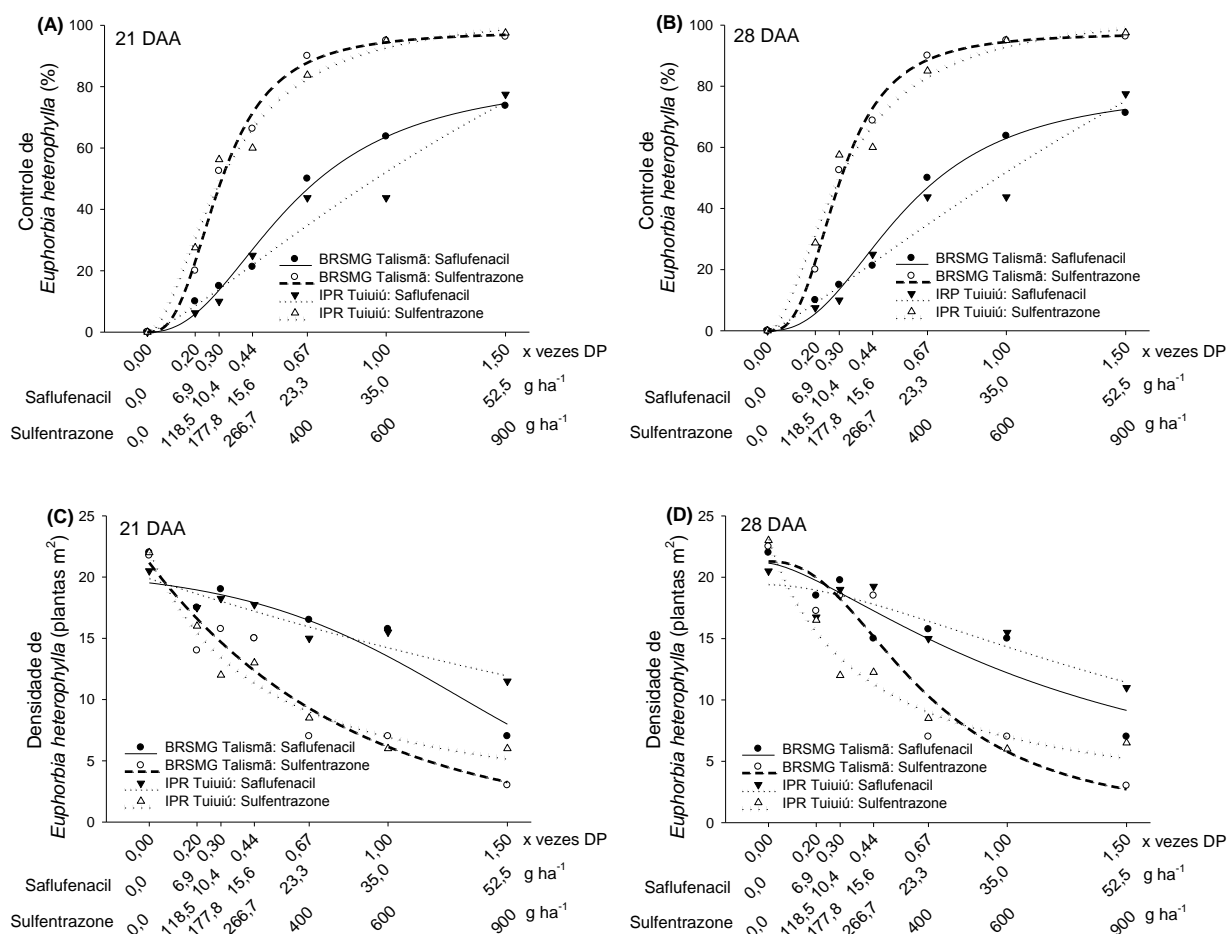


Figura 17 – Controle (%) de *Euphorbia heterophylla* aos 21 (A) e 28 DAA (B) e densidade (plantas m^{-2}) aos 21 (C) e 28 DAA (D), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.

Os altos níveis de controle aos 21 DAA com sulfentrazone corresponderam a valores de D_{50} de 184,8 e 194,4 g ha^{-1} , enquanto para saflufenacil foram de 21,2 e maior do que 52,5 g ha^{-1} de saflufenacil, respectivamente, para BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú (**Tabela 9**). Aos 28 DAA o D_{50} para sulfentrazone foi de 181,2 e 190,2 g ha^{-1} , para BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú, respectivamente, entretanto, para BRSMG Talismã o valor de D_{50} foi superestimado (**Tabela 9**).

Tabela 9 - Parâmetros das equações^(1,2), coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis controle (%) e densidade (plantas m^{-2}) de *Euphorbia heterophylla* aos 21 e 28 DAA.

Variável	Tratamento	Parâmetros	R^2	p
----------	------------	------------	-------	-----

		a	b	D ₅₀	D ₅₀ ia			
Controle de <i>Euphorbia</i> <i>heterophylla</i>	21 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 83,638	-2,317	0,606	21,2	0,98	0,0002
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 98,150	-2,752	0,308	184,8	0,99	<0,0001
		IPR Tuiuiu: Saflufenacil	¹ 220,529	-1,250	>1,5	>52,5	0,94	0,0017
		IPR Tuiuiu: Sulfentrazone	¹ 104,864	-1,813	0,324	194,4	0,98	0,0002
	28 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 79,596	-2,428	0,578	20,2	0,98	0,0002
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 97,494	-2,892	0,302	181,2	0,99	<0,0001
		IPR Tuiuiu: Saflufenacil	¹ 272,880	-1,183	>1,5	>52,5	0,94	0,0017
		IPR Tuiuiu: Sulfentrazone	¹ 104,947	-1,790	0,317	190,2	0,97	0,0003
Densidade de <i>Euphorbia</i> <i>heterophylla</i>	21 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	² 20,680	-0,455	1,289	45,1	0,73	0,0310
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	² 381,611	-0,782	-2,218	>900	0,87	0,0071
		IPR Tuiuiu: Saflufenacil	² 93,573	-2,453	-3,212	>52,5	0,86	0,0088
		IPR Tuiuiu: Sulfentrazone	¹ 0,008	1,011	0,466	279,6	0,95	0,0012
	28 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 21,141	1,440	1,242	43,5	0,77	0,0236
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 21,288	2,306	0,652	391,0	0,86	0,0092
		IPR Tuiuiu: Saflufenacil	¹ 19,433	1,663	>1,5	>52,5	0,72	0,0358
		IPR Tuiuiu: Sulfentrazone	¹ 23,097	0,960	0,420	252,0	0,95	0,0009

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros; ²Equação sigmoidal sigmoide de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D₅₀= dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. D₅₀ ia= dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

Os níveis de controle de *B. pilosa* aos 21 DAA aumentaram com a elevação das doses, sendo maiores para o sulfentrazone e similares para ambos os herbicidas na maior dose (**Figura 18A**). A dose de 400 g ha⁻¹ de sulfentrazone proporcionou nível de controle eficiente, acima de 80% nas duas cultivares, o qual só foi alcançado pelo saflufenacil na maior dose testada. Níveis de controle similares foram observados aos 28 DAA, sendo superiores a 80% a partir de 400 ha⁻¹ de sulfentrazone, alcançado por saflufenacil apenas a partir de 35 g ha⁻¹ (**Figura 18B**).

Em estudo empregando o herbicida saflufenacil (70 g ha⁻¹) em pré-emergência da cultura da soja, com ou sem palha de aveia preta na superfície do solo, o controle de *B. pilosa* foi alto, cerca de 80% aos 28 DAA, tanto no sistema com quanto no sem palha (PATEL, 2018). Os altos níveis de controle de *B. pilosa* destacam que a dose registrada na cultura da soja (600 g ha⁻¹ de sulfentrazone) (FMC, 2017) também é eficiente na cultura do feijão. Os níveis de controle foram altos para saflufenacil, principalmente com 52,5 g ha⁻¹. Dose superior a 70 g ha⁻¹ é recomendada para a obtenção de elevado controle para esta espécie na modalidade de pré-emergência (BASF, 2018a).

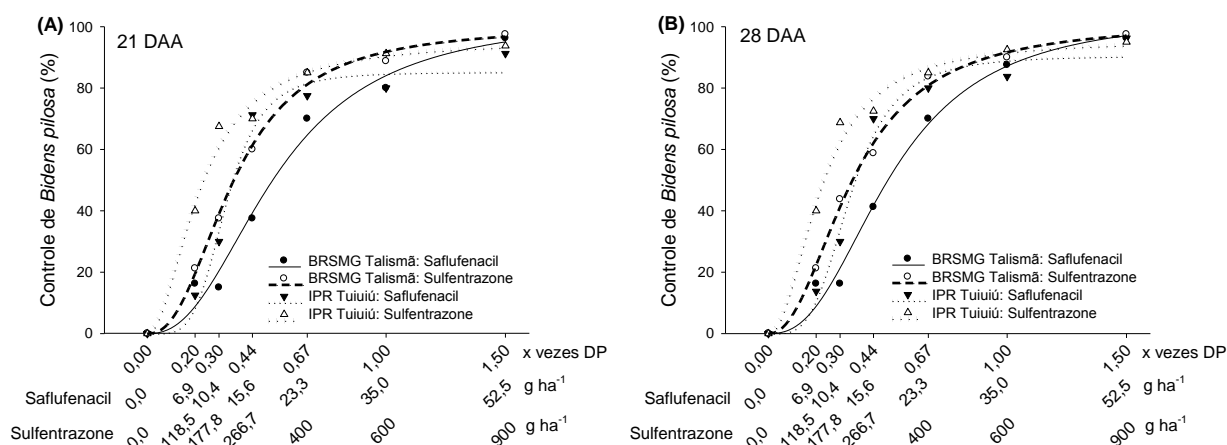


Figura 18 – Controle de *Bidens pilosa* (%) aos 21 (A) e 28 DAA (B), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.

Os altos níveis de controle geraram D_{50} baixos. Apenas 18,9 e 18,0 g ha^{-1} de saflufenacil aos 21 DAA e 18,0 e 12,0 g ha^{-1} aos 28 DAA foram necessários para gerar 50% de controle, respectivamente, em combinação com BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú. Já para sulfentrazone os D_{50} foram de 217,2 e 133,8 g ha^{-1} aos 21 DAA e 213,6 e 132,6 g ha^{-1} aos 28 DAA, respectivamente, em combinação com BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú (**Tabela 10**).

Tabela 10 - Parâmetros da equação⁽¹⁾, coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável controle de *Bidens pilosa* (%) aos 21 e 28 DAA.

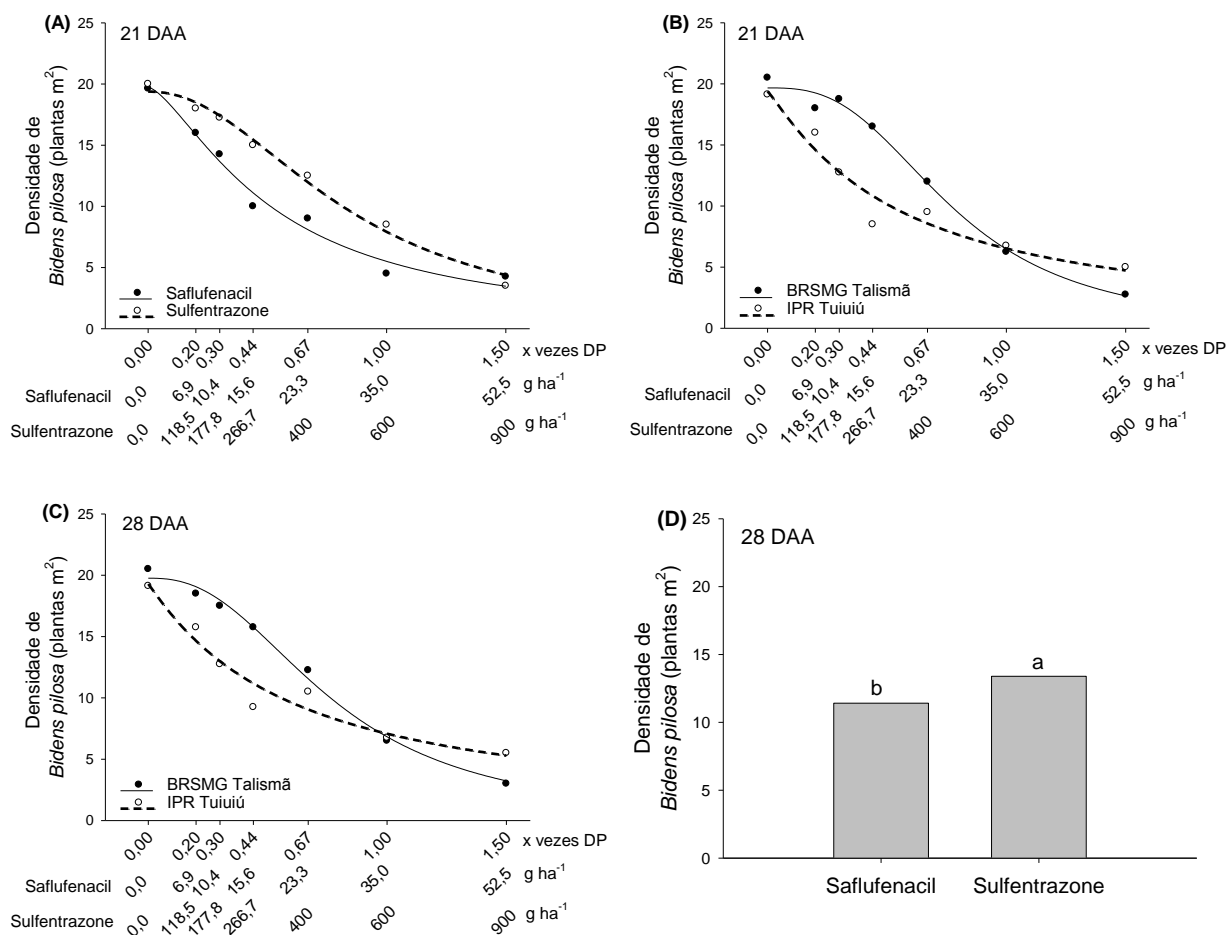
Variável	Tratamento	Parâmetros				R^2	p	
		a	b	D_{50}	$D_{50\text{ ia}}$			
Controle de <i>Bidens pilosa</i>	21 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 103,353	-2,384	0,539	18,9	0,97	0,0003
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 100,037	-2,379	0,362	217,2	0,99	<0,0001
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 85,270	-4,382	0,329	11,5	0,98	0,0003
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 95,624	-1,914	0,223	133,8	0,98	0,0001
	28 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 103,841	-2,496	0,515	18,0	0,98	<0,0001
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 101,298	-2,185	0,356	213,6	0,99	<0,0001
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 90,616	-3,695	0,342	12,0	0,98	0,0002
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 95,780	-2,036	0,221	132,6	0,98	0,0001

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. $D_{50\text{ ia}}$ = dose de ingrediente ativo (g ha^{-1}) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

A densidade de *B. pilosa* aos 21 DAA foi reduzida com a elevação das doses dos herbicidas, sendo menor com uso de saflufenacil em quase todas as doses, chegando a menos de 5 plantas m^{-2} na maior dose de ambos os herbicidas (**Figura 19A**). Observou-se também que na cultivar BRSMG Talismã a densidade desta espécie daninha foi maior nas duas avaliações (21 e 28 DAA) até a dose de

0,67x, e a partir da dose 1x os valores permaneceram inferiores a 7 plantas m^{-2} nas duas avaliações em ambas as cultivares (**Figura 19B e C**).

Aos 28 DAA na média geral para herbicidas, saflufenacil reduziu mais a densidade (11,4 plantas m^{-2}) em relação ao sulfentrazone (13,4 plantas m^{-2}) e, na média, houve menor densidade na IPR Tuiuiú (11,4), quando comparada a BRSMG Talismã (13,4) (**Figura 19D e E**).



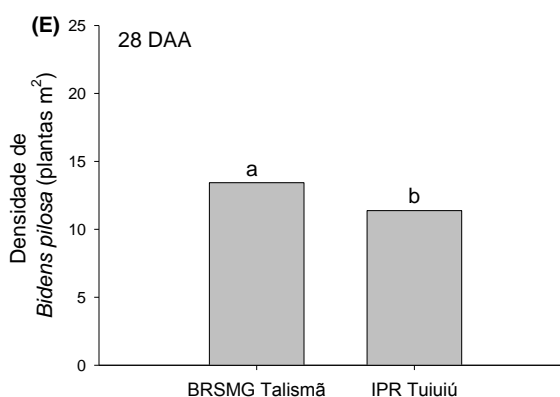


Figura 19 – Densidade de *Bidens pilosa* aos 21 DAA considerando a interação entre herbicidas e doses (A) e cultivares e doses (B); densidade aos 28 DAA, considerando a interação entre cultivares e doses (C), em resposta aos herbicidas (D) e em resposta as cultivares (E). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). DP: dose padrão.

A densidade de *B. pilosa* foi reduzida em maior proporção ainda em doses menores de saflufenacil, o que resultou em D_{50} de apenas $18,3 \text{ g ha}^{-1}$. Já para sulfentrazone reduzir 50% da densidade dessa espécie foi necessário de $504,0 \text{ g ha}^{-1}$. Vale salientar que essa dose de sulfentrazone é inferior a dose recomendada em pré-emergência da cultura da soja (**Tabela 11**).

Tabela 11 - Parâmetros da equação⁽¹⁾, coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável densidade de *Bidens pilosa* (plantas m^{-2}) aos 21 e 28 DAA.

Variável	Tratamento	Parâmetros				R^2	p	
		a	b	D_{50}	$D_{50 \text{ ia}}$			
Densidade de <i>Bidens pilosa</i>	21 DAA	Saflufenacil	¹ 19,737	1,465	0,522	18,3	0,97	0,0004
		Sulfentrazone	¹ 19,378	19,378	0,840	504,0	0,98	0,0001
		BRSMG Talismã	¹ 19,670	2,831	0,777	-	0,99	<0,0001
		IPR Tuiuiú	¹ 19,385	1,116	1,116	-	0,92	0,0029
	28 DAA	BRSMG Talismã	¹ 19,762	2,449	0,770	-	0,99	<0,0001
		IPR Tuiuiú	¹ 19,289	1,053	0,596	-	0,92	0,0026

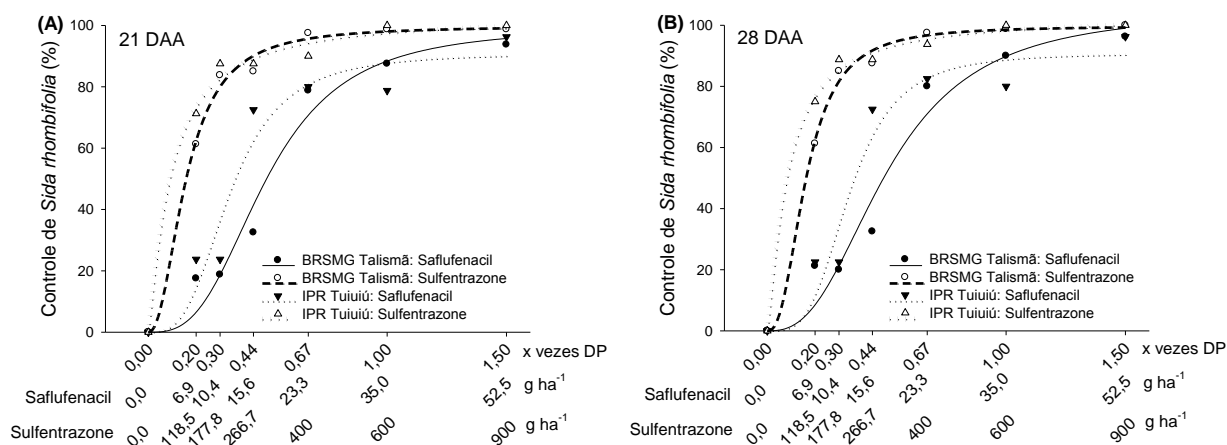
¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. $D_{50 \text{ ia}}$ = dose de ingrediente ativo (g ha^{-1}) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

O controle de *S. rhombifolia* aos 21 e 28 DAA foi superior com doses muito baixas de sulfentrazone ($177,8 \text{ g ha}^{-1}$), que resultaram em níveis de controle superiores a 80% (**Figura 20A e B**). Níveis acima desse só foram observados para saflufenacil na cultivar BRSMG Talismã com 35 g ha^{-1} e nas duas cultivares e épocas de avaliação com $52,5 \text{ g ha}^{-1}$.

Os resultados supracitados impactaram consideravelmente na densidade de *S. rhombifolia*, em que sulfentrazone mostrou-se mais eficiente comparado ao saflufenacil, mantendo a densidade populacional desta espécie abaixo de 8 plantas m^{-2} a partir de 177,8 g ha^{-1} , nas duas épocas de avaliação. Para reduzir a densidade a 10 plantas m^{-2} foram necessárias 52,5 g ha^{-1} saflufenacil nas duas avaliações.

Em estudo empregando o herbicida saflufenacil (70 g ha^{-1}) em pré-emergência da soja, com ou sem palha de aveia preta na superfície do solo, com presença das espécies de leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), picão-preto (*Bidens pilosa*), corda-de-viola (*Ipomoea* spp.), guanxuma (*Sida rhombifolia*) e milhã (*Digitaria insularis*), com predominância desta última, o nível de controle foi alto, entorno de 80% aos 28 DAA em ambos os sistemas, com ou sem palha (PATEL, 2018). Tal resultado destaca a importância da não redução da eficiência deste herbicida na presença da palha sobre o solo, permitindo assim o aproveitamento dos benefícios que a palha proporciona no âmbito no manejo das plantas daninhas.

Os níveis de controle de *S. rhombifolia* com saflufenacil mostram a necessidade de utilização de dose equivalente a 52,5 g ha^{-1} ou superior, o que está de acordo com a dose recomendada para uso em pré-emergência na cultura do arroz, para controle satisfatório de *S. rhombifolia* (BASF, 2018a). Os altos níveis de controle observados com a dose de 600 g ha^{-1} de sulfentrazone em pré-emergência demonstram compatibilidade com a dose recomendada para controle dessa espécie daninha na cultura da soja (FMC, 2017).



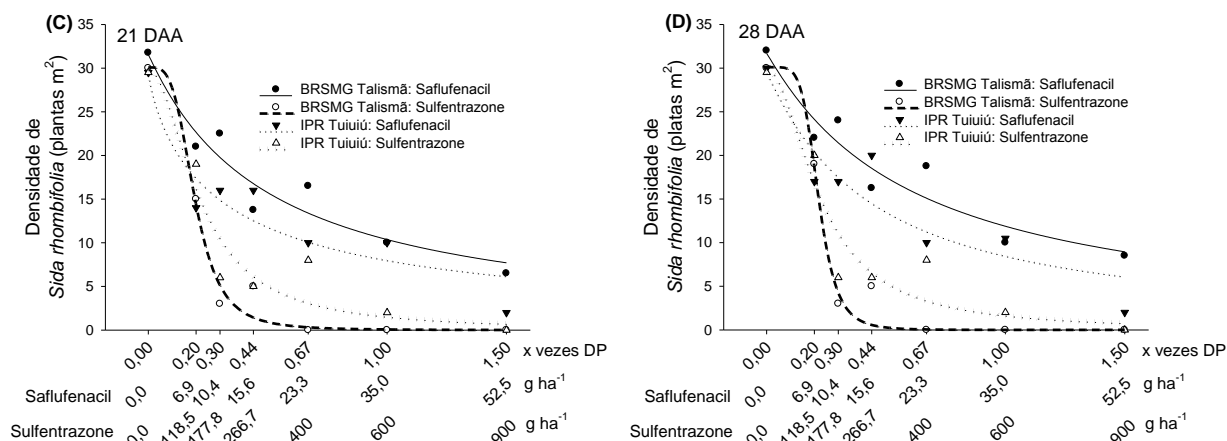


Figura 20 – Controle (%) de *Sida rhombifolia* aos 21 (A) e 28 DAA (B) e densidade aos 21 (C) e 28 DAA (D), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.

Os valores de D_{50} para densidade foram de apenas $135,5 \text{ g ha}^{-1}$ de sulfentrazone, muito a baixo da dose comercial recomendada para a soja (600 g ha^{-1}) e de $21,4 \text{ g ha}^{-1}$ de saflufenacil, próxima a dose considerada padrão (35 g ha^{-1}) (Tabela 12). Estes resultados mostram a maior eficiência de controle dessa espécie com o herbicida sulfentrazone.

Tabela 12 - Parâmetros da equação⁽¹⁾, coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis controle (%) e densidade (plantas m^{-2}) de *Sida rhombifolia* aos 21 e 28 DAA.

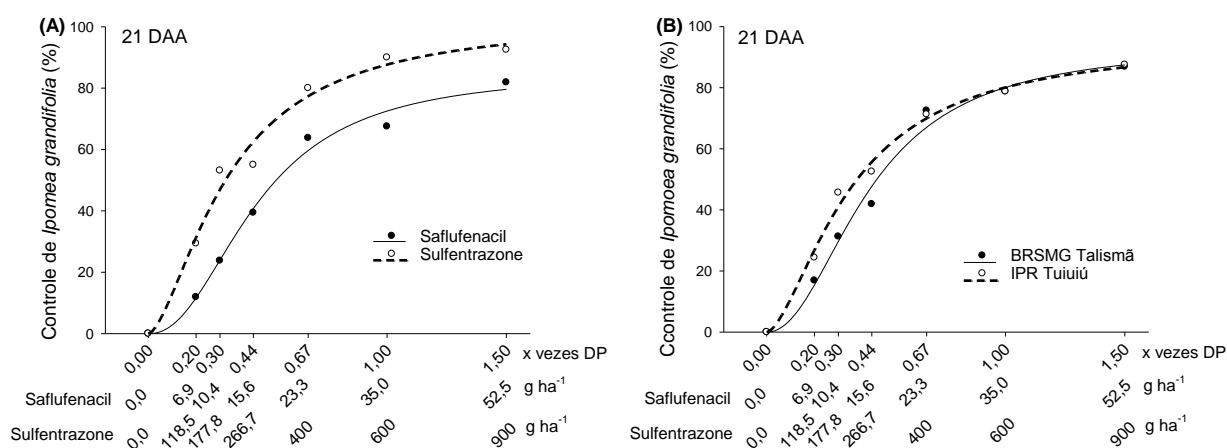
Variável	Tratamento	Parâmetros				R^2	p	
		a	b	D_{50}	$D_{50 \text{ ia}}$			
Controle de <i>Sida rhombifolia</i>	21 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 99,366	99,366	0,493	17,3	0,95	0,0009
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 99,793	-2,179	0,158	94,8	0,99	<0,0001
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 90,914	90,914	0,341	11,9	0,91	0,0033
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 103,145	-1,212	0,095	57,0	0,99	<0,0001
	28 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 104,696	-2,624	0,504	17,6	0,94	0,0016
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 99,691	-2,457	0,162	57,0	0,99	<0,0001
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 90,818	-3,517	0,344	12,0	0,92	0,0028
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 102,676	-1,270	0,086	51,6	0,99	<0,0001
Densidade de <i>Sida rhombifolia</i>	21 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 31,555	1,024	0,498	17,4	0,93	0,0050
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 30,079	3,683	0,195	117,0	0,96	0,0005
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 29,194	0,844	0,314	11,0	0,84	0,0117
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 29,816	1,910	0,216	129,6	0,88	0,0066
	28 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 31,689	1,038	0,611	21,4	0,87	0,0069
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 30,101	5,624	0,218	130,8	0,96	0,0007
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 29,366	1,070	0,429	15,0	0,79	0,0189
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 29,871	1,917	0,226	135,6	0,87	0,0075

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. $D_{50 \text{ ia}}$ = dose de ingrediente ativo (g ha^{-1}) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

O controle de *I. grandifolia* aos 21 e 28 DAA foi superior com sulfentrazone em todas as doses, sendo maior que 80% nas doses a partir de 400 g ha⁻¹, enquanto que nível de controle de 80% só foi gerado pelo saflufenacil em sua maior dose (52,5 g ha⁻¹) nas duas avaliações (**Figura 21A e C**).

Os níveis de controle de *I. grandifolia* foram muito similares entre as cultivares e aumentaram conforme a elevação das doses, ultrapassando 80% na maior dose de ambos os herbicidas (**Figura 21B e D**). Os altos níveis de controle observados demonstram a eficiência de sulfentrazone, na dose de 600 g ha⁻¹, a mesma recomendada para a cultura da soja (FMC, 2017). Os níveis de controle com saflufenacil mostram a necessidade de dose superior a testada no presente trabalho (52,5 g ha⁻¹) para o controle adequado de *I. grandifolia*, que deve estar entre 70 e 98 g ha⁻¹, similar à faixa de doses recomendada para uso em pré-emergência da cana-de-açúcar (BASF, 2018a).

Em pré-emergência da cana-de-açúcar e da daninha, o controle de *I. grandifolia* foi de 88% com 600 g ha⁻¹ de sulfentrazone (AZANIA et al., 2009). Quando este herbicida foi associado a diuron (936 g ha⁻¹) e hexazinone (264 g ha⁻¹) o controle foi de 79% e quando sulfentrazone (500 g ha⁻¹) foi associado a amicarbazone (700 g ha⁻¹) o nível de controle foi de 83% (AZANIA et al., 2009).



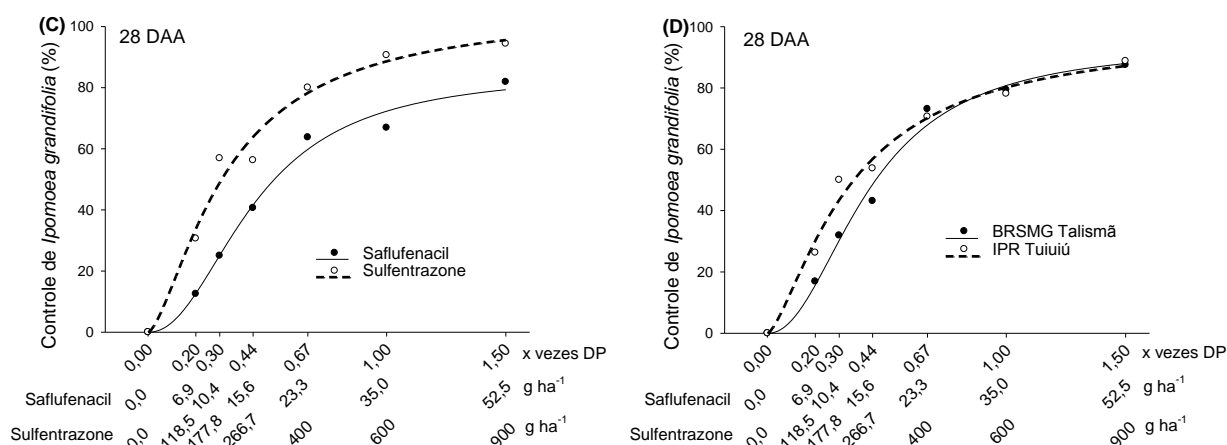


Figura 21 – Controle de *Ipomoea grandifolia* (%) aos 21 e 28 DAA, considerando a interação entre herbicidas e doses (A e C) e cultivares e doses (B e D). DP: dose padrão.

Os valores de D_{50} para sulfentrazone foram baixos, sendo de 200,4 e 198,0 g ha^{-1} aos 21 e 28 DAA e para saflufenacil também foram baixos, 16,0 e 15,8 g ha^{-1} aos 21 e 28 DAA, respectivamente. Isso indica que ambos os herbicidas mostraram-se eficientes no controle de *I. grandifolia* (Tabela 13).

Tabela 13 - Parâmetros da equação⁽¹⁾, coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável controle de *Ipomoea grandifolia* (%) aos 21 e 28 DAA.

Variável	Tratamento	Parâmetros				R^2	p	
		a	b	D_{50}	$D_{50\text{ia}}$			
Controle de <i>Ipomoea grandifolia</i>	21 DAA	Saflufenacil	¹ 85,297	-2,224	0,458	16,0	0,99	<0,0001
		Sulfentrazone	¹ 102,801	-1,605	0,334	200,4	0,97	0,0003
	28 DAA	BRSGM Talismã	¹ 93,946	-2,098	0,433	-	0,98	0,0001
		IPR Tuiuiú	¹ 95,120	-1,619	0,355	-	0,99	<0,0001
Controle de <i>Ipomoea grandifolia</i>	21 DAA	Saflufenacil	¹ 85,277	-2,151	0,450	15,8	0,99	<0,0001
		Sulfentrazone	¹ 105,442	-1,501	0,330	198,0	0,97	0,0004
	28 DAA	BRSGM Talismã	¹ 94,143	-2,116	0,427	-	0,99	<0,0001
		IPR Tuiuiú	¹ 98,013	-1,438	0,352	-	0,98	0,0002

¹Equação sigmóidica de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. $D_{50\text{ia}}$ = dose de ingrediente ativo (g ha^{-1}) necessária para reduzir a variável dependente em 50%

A densidade de plantas de *I. grandifolia* foi reduzida com a elevação das doses de ambos os herbicidas, sendo as menores densidades observadas na maior dose, permanecendo inferiores a 11 plantas m^{-2} nas duas avaliações (Figura 22A e B). As maiores densidades dessa espécie em doses inferiores a 52,5 g ha^{-1} de saflufenacil, podendo ser atribuídas à menor eficiência de controle e a alta fitotoxicidade para a cultura que resultou em elevada mortalidade de plantas, e

consequentemente maior penetração de radiação solar na superfície do solo, que favoreceu a germinação de maior número de sementes da espécie.

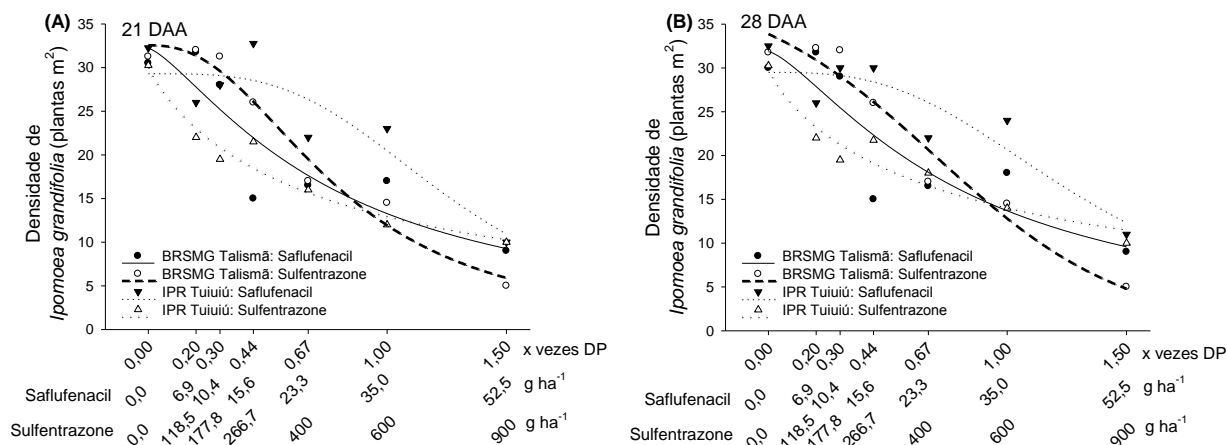


Figura 22 – Densidade de *Ipomoea grandifolia* aos 21 (A) e 28 (B) DAA, considerando a interação tripla. DP: dose padrão.

Para densidade de *I. grandifolia* os valores de D_{50} de saflufenacil foram altos, sendo de 27,0 e 44,9 g ha⁻¹ aos 21 DAA e de 28,5 e 46,8 g ha⁻¹ aos 28 DAA, respectivamente, para BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú. Sulfentrazone também resultou em D_{50} altos, 476,4 e 427,2 g ha⁻¹ aos 21 DAA e 419,4 e 520,8 g ha⁻¹ aos 28 DAA, respectivamente, para BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú (**Tabela 14**). Os valores de D_{50} obtidos para saflufenacil são próximos a dose considerada referência, de 35 g ha⁻¹, o mesmo ocorrendo para os valores de D_{50} para sulfentrazone quando comparado a dose comercial para soja, 600 g ha⁻¹.

Tabela 14 - Parâmetros da equação⁽¹⁾, coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável densidade de *Ipomoea grandifolia* (plantas m⁻²) aos 21 e 28 DAA.

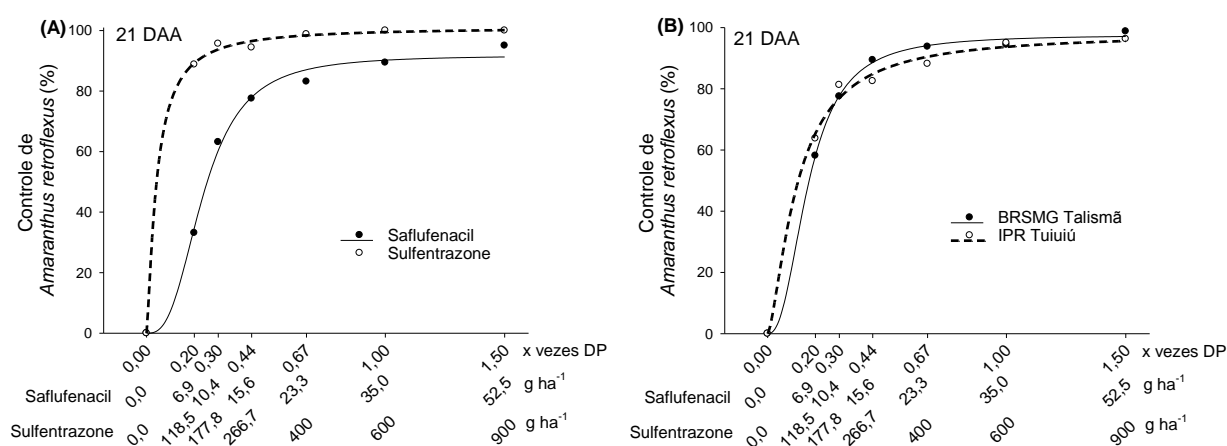
Variável	Tratamento	Parâmetros				R^2	p	
		a	b	D_{50}	D_{50} ia			
Densidade de <i>Ipomoea grandifolia</i>	21 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 32,199	1,360	0,771	27,0	0,71	0,0366
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 32,555	2,368	0,794	476,4	0,96	0,0008
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 29,361	3,344	1,284	44,9	0,73	0,0319
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 29,987	0,912	0,742	427,2	0,93	0,0022
Densidade de <i>Ipomoea grandifolia</i>	28 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 31,857	1,382	0,815	28,5	0,66	0,0513
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 39,820	-0,402	0,699	419,4	0,93	0,0021
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 29,556	2,909	1,337	46,8	0,75	0,0286
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 29,879	0,851	0,868	520,8	0,90	0,0041

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. D_{50} ia= dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

Os níveis de controle de *A. retroflexus* aos 21 e 28 DAA dos herbicidas foram superiores para sulfentrazone em todas as doses testadas, com excelente controle ainda a partir da dose de 118,5 g ha⁻¹, alcançando 100% nas doses de 600 e 900 g ha⁻¹ nas duas épocas de avaliação (**Figura 23A e C**). Níveis superiores a 80% de controle para o herbicida saflufenacil foram observados a partir da dose de 23,3 g ha⁻¹ nas duas épocas de avaliação. Na média dos herbicidas para as cultivares, tanto aos 21 quanto aos 28 DAA os níveis de controle foram levemente superiores para a cultivar BRSMG Talismã (**Figura 23 B e D**). A recomendação de sulfentrazone no manejo pré-emergente de *A. retroflexus* em citrus é de 600 g ha⁻¹ (FMC, 2017), dose que demonstrou alto nível de controle no presente estudo.

Em estudo realizado em pré-emergência da cultura do feijão e de *A. retroflexus*, a aplicação de 140 g ha⁻¹ de sulfentrazone resultou em níveis de controle de 98% mesmo a 8 semanas após a aplicação, chegando a 100% na dose de 210 g ha⁻¹ (TAIZAR et al., 2016). Quando sulfentrazone (140 e 210 g ha⁻¹) foi associado a pendimethalin (1080 g ha⁻¹), dimethenamid-p (544 g ha⁻¹), s-metolachlor (1050 g ha⁻¹) e pyroxasulfone (100 g ha⁻¹), os níveis de controle na avaliação aos 28 DAA atingiram 100% e se mantiveram até as 56 DAA. Ressalta-se que os níveis de injúrias em feijão branco (var. T99905) foram baixos nestas associações, sendo inferiores a 18%, com exceção da associação se sulfentrazone com pyroxasulfone que ficou entorno de 25% (TAIZAR et al., 2016).

Tais resultados obtidos no presente estudo e também observado por Taizar et al. (2016), demonstram a alta sensibilidade que *A. retroflexus* apresenta em baixas doses do herbicidas saflufenacil.



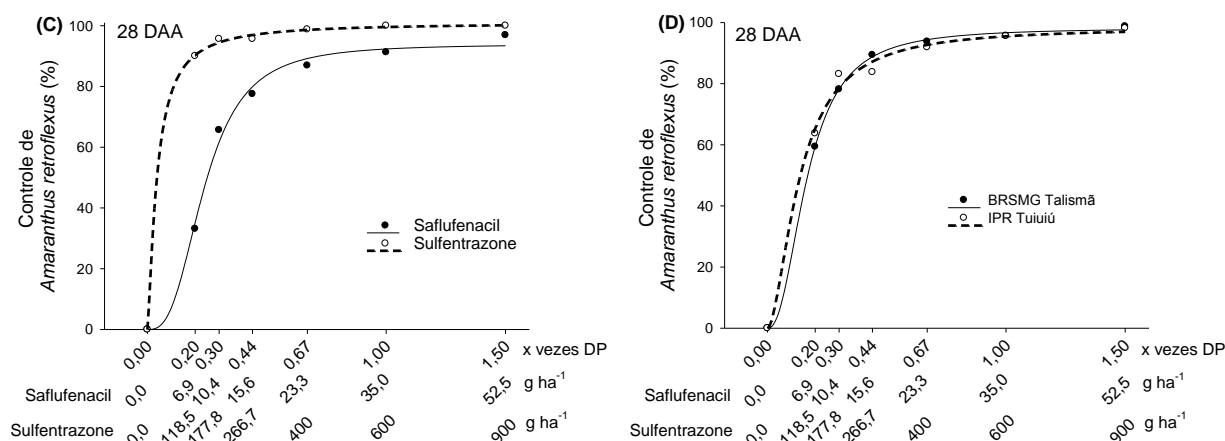


Figura 23 – Controle (%) de *Amaranthus retroflexus*, considerando a interação entre herbicidas e doses (A e C) aos 21 DAA e interação entre cultivares e doses (B e D) aos 28 DAA. DP: dose padrão.

Os valores de D_{50} para sulfentrazone foram muito baixos, sendo de 25,2 e 24,0 g ha⁻¹ aos 21 e 28 DAA, e baixos para saflufenacil, 8,3 e 8,4 g ha⁻¹ aos 21 e 28 DAA, respectivamente (**Tabela 15**). Esses resultados demonstram a alta sensibilidade de *A. retroflexus* a ambos os herbicidas ainda em baixas doses.

Tabela 15 - Parâmetros da equação⁽¹⁾, coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável controle (%) de *Amaranthus retroflexus* aos 21 e 28 DAA.

Variável	Tratamento	Parâmetros				R^2	p	
		a	b	D_{50}	$D_{50\text{ ia}}$			
Controle de <i>Amaranthus retroflexus</i>	21 DAA	Saflufenacil	¹ 91,786	91,786	0,238	8,3	0,99	<0,0001
		Sulfentrazone	¹ 101,085	-1,308	0,042	25,2	0,99	<0,0001
	28 DAA	BRSMG Talismã	¹ 97,610	-2,404	0,170	-	0,99	<0,0001
		IPR Tuiuiú	¹ 98,030	-1,478	0,125	-	0,99	<0,0001
	21 DAA	Saflufenacil	¹ 93,879	-2,859	0,239	8,4	0,99	<0,0001
		Sulfentrazone	¹ 100,919	-1,337	0,040	24,0	0,99	<0,0001
		BRSMG Talismã	¹ 98,220	-2,298	0,166	-	0,99	<0,0001
		IPR Tuiuiú	¹ 98,425	-1,742	0,135	-	0,99	<0,0001

¹Equação sigmoide logística de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. $D_{50\text{ ia}}$ = dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

A densidade de *A. retroflexus* foi reduzida conforme o aumento das doses dos herbicidas, sendo muito baixa a partir de 118,5 g ha⁻¹ de sulfentrazone aos 21 e 28 DAA, chegando a eliminação completa das plantas nas doses de 600 e 900 g ha⁻¹ (**Figura 24A e B**). Já, o herbicida saflufenacil foi menos eficiente em reduzir a densidade de plantas desta espécie, necessitando de doses acima de 35 g ha⁻¹ para reduzir a densidade abaixo de 10 plantas m⁻².

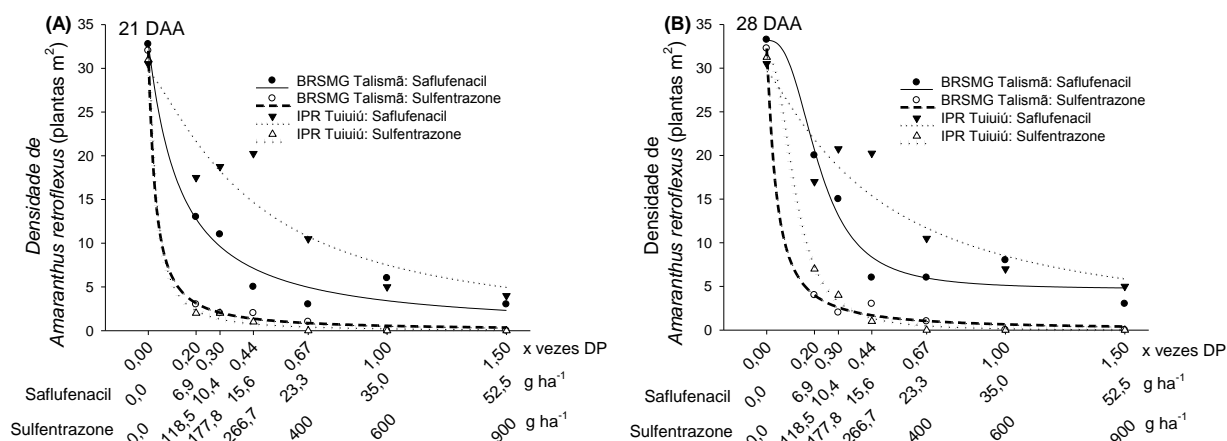


Figura 24 – Densidade de *Amaranthus retroflexus* aos 21 (A) e 28 DAA, considerando a interação tripla. DP: dose padrão.

Os valores de D_{50} para sulfentrazone foram muito baixos, sendo de 16,8 e 18,6 g ha^{-1} aos 21 DAA e de 22,8 e 71,4 g ha^{-1} aos 28 DAA, respectivamente, para BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú. Para saflufenacil os D_{50} foram baixos, 4,6 e 15,2 g ha^{-1} aos 21 DAA e maior que 52,5 e de 16,4 g ha^{-1} aos 28 DAA, respectivamente, para BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú. Vale ressaltar que em função do menor ajuste da curva de saflufenacil para BRSMG Talismã aos 28 DAA o valor de D_{50} (>52,5) foi superestimado (**Tabela 16**). A alta sensibilidade dessa espécie observada através dos níveis de controle também é expressa através dos valores baixos de D_{50} gerados para ambos os herbicidas.

Tabela 16 - Parâmetros da equação⁽¹⁾, coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável densidade de *Amaranthus retroflexus* (plantas m^{-2}) aos 21 e 28 DAA.

Variável	Tratamento	Parâmetros					R^2	p	
		a	b	D_{50}	y_0	D_{50}/a			
Densidade de <i>Amaranthus retroflexus</i>	21 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 32,784	1,056	0,131	-	4,6	0,96	0,0007
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 31,999	1,127	0,028	-	16,8	0,99	<0,0001
	28 DAA	IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 29,612	1,286	0,434	-	15,2	0,84	0,0115
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 30,999	1,356	0,031	-	18,6	0,99	<0,0001
		BRSMG Talismã: Saflufenacil	³ 28,497	2,720	-0,218	4,678	>52,5	0,94	0,0091
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 32,249	1,192	0,038	-	22,8	0,99	<0,0001
28 DAA	IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 29,665	1,198	0,469	-	16,4	0,83	0,0135	
	IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 31,244	2,343	0,119	-	71,4	0,99	<0,0001	

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros; ³Equação sigmoidal logística de quatro parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável

dependente em 50%; y_0 = assíntota mínima da curva. D_{50} = dose de ingrediente ativo (g ha^{-1}) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

Em geral, o herbicida sulfentrazone proporcionou controle visual mais eficiente do que saflufenacil em menores doses em relação a dose padrão de cada herbicida, em que níveis satisfatórios de controle das espécies *E. heterophylla*, *B. pilosa*, *S. rhombifolia*, *I. grandifolia* e *A. retroflexus*, foram obtidos nas respectivas doses de 400, 400, 177,8, 400 e 118,5 g ha^{-1} , ou seja, os níveis de controle variam com a espécie, não sendo viável o uso apenas de sulfentrazone para um controle de amplo espectro de plantas daninhas, conforme também apontado por Walsh et al. (2015), em estudo realizado com sulfentrazone. Entretanto, ressalta-se que essas doses efetivas são inferiores a dose recomendada para o manejo de plantas daninhas na pré-emergência da cultura da soja (600 g ha^{-1}), indicando que dose maior seria necessária para ampliação de espectro de plantas daninhas possíveis de serem controladas.

A cultivar IPR Tuiuiú em geral apresentou maior infestação de plantas daninhas do que a BRSMG Talismã, pois IPR Tuiuiú é mais afetada pelos herbicidas, abrindo espaço para as plantas daninhas se desenvolverem. Além disso, BRSMG Talismã apresenta porte prostrado e hábito de crescimento indeterminado do tipo III, enquanto IPR Tuiuiú possui porte ereto e hábito de crescimento indeterminado do tipo II. Tais diferenças de arquitetura entre as duas cultivares favorece uma maior supressão no desenvolvimento das plantas daninhas pela BRSMG Talismã.

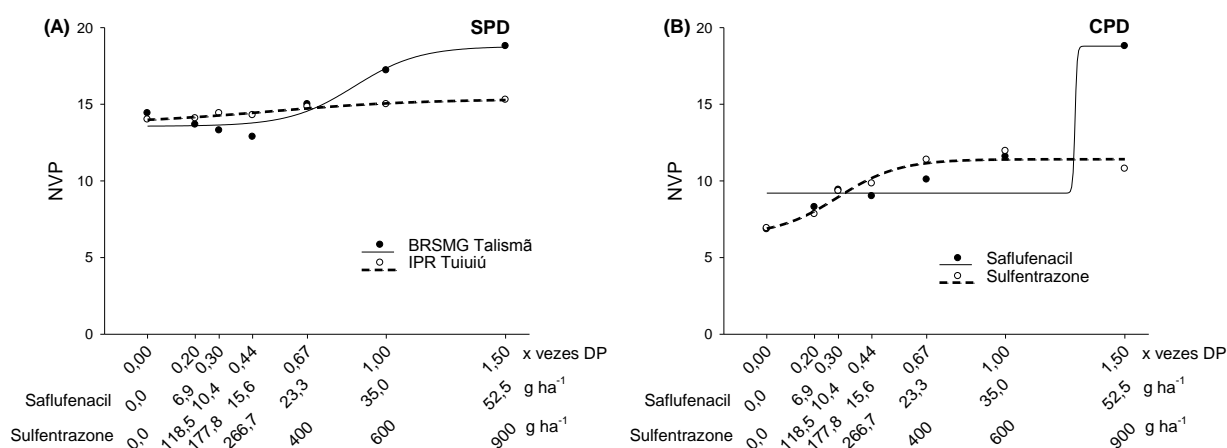
Em estudo realizado por Grey et al. (2004), na Georgia-EUA a aplicação de 280 g ha^{-1} de sulfentrazone proporcionou excelente controle de *E. heterophylla* (93%), além das espécies *Desmodium tortuosum*, *Ipomoea purpurea* e *Cyperus esculentus*, respectivamente, com 88, 96 e 97%. Krausz e Young (2003), no Canadá, utilizando sulfentrazone na dose de 280 e 350 g ha^{-1} em pré-emergência observaram controle eficiente das espécies daninhas *Xanthium strumarium* (97 e 98%), *Ambrosia artemisiifolia* (89 e 63%), *Amaranthus rudis* (97 e 98%), *Ipomoea hederacea* (100 e 100%) e *Cyperus esculentus* (96 e 98%). Em trabalho desenvolvido por Walsh et al. (2015), também no Canadá, empregando sulfentrazone da dose de 600 g ha^{-1} foi capaz de reduzir a massa seca da parte

aérea em 90% para as espécies daninhas *Amaranthus retroflexus*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Chenopodium album* e *Setaria viridis*. Nesse estudo, as doses necessárias para reduzir 50% a massa seca da parte aérea foram de 104, 139, 15 e 65 g ha⁻¹, respectivamente, para as espécies supracitadas, demonstrando que os níveis de controle variam de acordo com a espécie daninha, como foi constatado no presente experimento.

4.4.1.3 Rendimento e componentes

A variável número de vagens por planta (NVP) para o experimento SPD e CPD apresentou aumento conforme a elevação das doses na média dos herbicidas. No SPD na maior dose testada o NVP foi de superior a 15 para IPR Tuiuiú e BRSMG Talismã (**Figura 25A**). Já, no CPD foi próximo de 10 e 18 vagens por planta, respectivamente, para IPR Tuiuiú e BRSMG Talismã (**Figura 25C**).

Na média das cultivares, a elevação das doses também gerou aumento do NVP, tanto para sulfentrazone, quanto para saflufenacil, sendo superior a 18 em 52,5 g ha⁻¹ saflufenacil. Isso pode ser atribuído a elevada mortalidade de plantas observadas em BRSMG Talismã, mas principalmente em IPR Tuiuiú nesta dose (**Figura 14**), resultando em redução do estande de plantas e em maior desenvolvimento individual das plantas, convertendo-se em aumento no NVP.



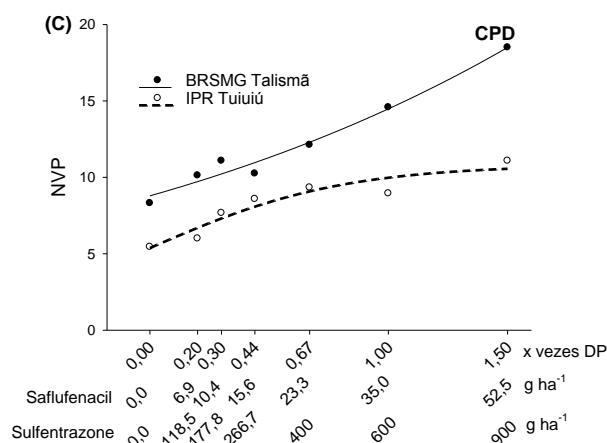


Figura 25 – Número de vagens por planta (NVP), considerando a interação entre cultivares e doses (A) no experimento sem plantas daninhas (SPD) e considerando a interação entre herbicidas e doses (B) e entre cultivares e doses (D) no experimento com plantas daninhas (CPD). DP: dose padrão.

O valor de D_{50} para o herbicida saflufenacil foi alto, 45,2 g ha⁻¹. Este valor é superestimado pelo comportamento da curva, onde na maior dose desde herbicida ocorre aumento expressivo do NVP devido a alta toxicidade que resulta na mortalidade de plantas. Baixo D_{50} foi observado para sulfentrazone 178,2 g ha⁻¹ (Tabela 17).

Tabela 17 - Parâmetros das equações^(2,4), coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável número de vagens por planta (NVP) no experimento sem (SPD) e com plantas daninhas (CPD).

Variável	Tratamento	Parâmetros					R^2	p
		a	b	D_{50}	y_0	$D_{50\text{ ia}}$		
SPD	BRSMG Talismã	⁴ 5,209	0,135	0,866	13,566	-	0,87	0,0278
	IPR Tuiuiú	⁴ 1,630	0,318	0,510	13,714	-	0,91	0,0157
NVP	Saflufenacil	⁴ 9,588	0,004	1,291	9,203	45,2	0,72	0,0858
	Sulfentrazone	⁴ 4,970	0,128	0,297	6,444	178,2	0,90	0,0195
	BRSMG Talismã	² 273,145	1,919	>1,5	-	-	0,96	0,0006
	IPR Tuiuiú	² 10,813	0,401	0,004	-	-	0,85	0,0097

²Equação sigmoidal sigmoide de três parâmetros; ⁴Equação sigmoidal sigmoide de quatro parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%; y_0 = assíntota mínima da curva. $D_{50\text{ ia}}$ = dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

No experimento sem a presença de plantas daninhas (experimento SPD), a aplicação de saflufenacil ou sulfentrazone, em qualquer dose, não reduziu o rendimento da cultivar BRSMG Talismã, atingindo a produtividade de cerca de 2700 kg ha⁻¹ para ambos os herbicidas, sendo superior ao rendimento apresentado pela cultivar IPR Tuiuiú (Figura 26A). A cultivar IPR Tuiuiú manteve elevado rendimento

mesmo com a elevação das doses de sulfentrazone até 900 g ha^{-1} (aproximadamente 2100 kg ha^{-1}), mas o mesmo foi drasticamente reduzido com o aumento das doses de saflufenacil, principalmente na dose de $52,5 \text{ g ha}^{-1}$.

A drástica redução no rendimento de IPR Tuiuiú com a aplicação de saflufenacil pode ser atribuída a baixa tolerância desta cultivar e a alta mortalidade de plantas de feijão sob uso de altas doses do herbicida (**Figura 13** e **Figura 14**). Já, o menor rendimento de grãos em relação a BRSMG Talismã, mesmo na testemunha, pode ser atribuído as condições climáticas desfavoráveis no período da colheita do experimento, onde ocorreram vários ciclos de chuvas intensas seguido de sol, que se repetiu por vários dias e proporcionou perdas de rendimento (**Figura 1**).

Em se tratando do rendimento de grãos sob influência da fitotoxicidade e das plantas daninhas (experimento CPD) a elevação das doses dos herbicidas proporcionou aumento de rendimento da cultivar BRSMG Talismã, alcançando produtividade entorno de 2200 kg ha^{-1} para saflufenacil e 3000 kg ha^{-1} para sulfentrazone.

Para IPR Tuiuiú, a elevação das doses do herbicida sulfentrazone proporcionou elevação do rendimento de grãos (628 kg ha^{-1} da testemunha), ficando próximo a 1400 kg ha^{-1} nas doses de 400, 600 e 900 g ha^{-1} . Comportamento diferente foi constatado para o rendimento da cultivar IPR Tuiuiú quando aplicado o herbicida saflufenacil. Houve incremento no rendimento com o aumento das doses de saflufenacil até $15,6 \text{ g ha}^{-1}$ e doses superiores $23,3 \text{ g ha}^{-1}$ resultaram em redução do rendimento de grãos. Tal comportamento pode ser explicado porque no experimento com plantas daninhas o herbicida exerce influência sobre a TR do feijão e sobre o controle de plantas daninhas, de forma simultânea, ambos influenciando o rendimento de grãos. O aumento das doses até $15,6 \text{ g ha}^{-1}$ resultou em baixa fitotoxicidade do herbicida (**Figura 13**) sobre a cultivar, que somado ao controle das plantas daninhas (**Figura 16**), resultou em incremento de rendimento. Ou seja, houve baixa perda de rendimento por fitotoxicidade e redução das perdas pela interferência com plantas daninhas. Contudo, a partir de doses de saflufenacil de $23,3 \text{ g ha}^{-1}$, houve incremento da fitotoxicidade nesta cultivar (**Figura 13**), ocasionando alta mortalidade de plantas que comprometeu o rendimento final.

A colheita da cultivar BRSMG Talismã ocorreu no dia 15/05, antes do início do período chuvoso, não havendo influências negativas em função de chuvas, enquanto a produtividade da cultivar IPR Tuiuiú foi influenciada negativamente pelas excessivas precipitações ocorridas durante a segunda quinzena do mês de maio (342,6 mm), que possibilitou a colheita apenas no dia 01/06 quando as chuvas cessaram (**Figura 1**).

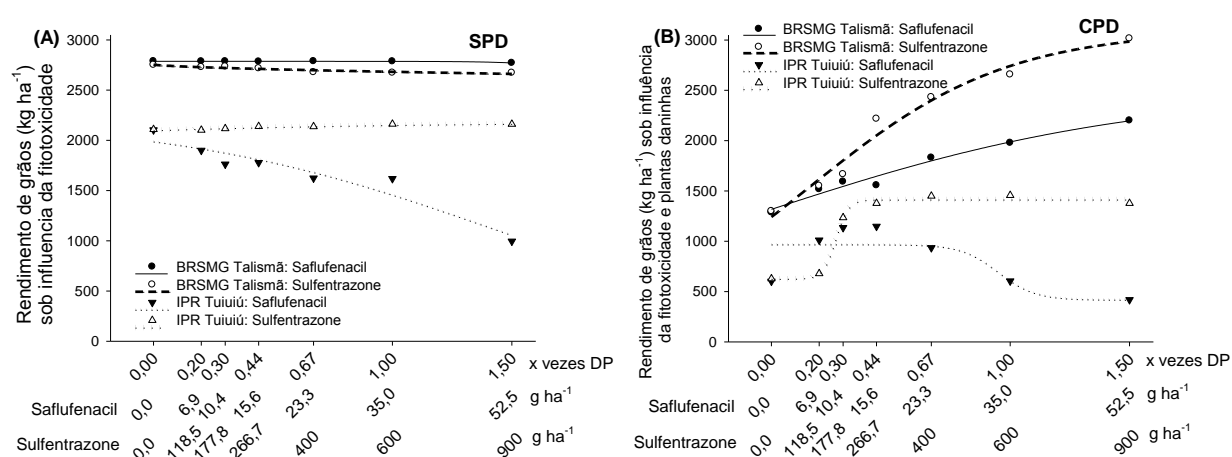


Figura 26 – Rendimento de grãos (kg ha⁻¹) sob influência da fitotoxicidade (A) no experimento sem plantas daninhas (SPD) e fitotoxicidade e plantas daninhas (B) no experimento com plantas daninhas (CPD), considerando a interação tripla. Rendimento de grãos da testemunha capinada no experimento sob influência da fitotoxicidade e das plantas daninhas para cultivar BRSMG Talismã foi de 2803,9 e 2093,4 kg ha⁻¹ para IPR Tuiuiú. DP: dose padrão.

Os valores de D₅₀ para rendimento de grãos no experimento SPD com saflufenacil foram altos, sendo maiores do que 52,5 e 50,0 g ha⁻¹ respectivamente para BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú. Para sulfentrazone os D₅₀ foram superiores a dose máxima testada (900 g ha⁻¹) (**Tabela 18**).

No experimento CPD o D₅₀ para saflufenacil foi superior a 52,5 g ha⁻¹ para BRSMG Talismã, mas de apenas 33,1 g ha⁻¹ para IPR Tuiuiú. Isso indica que baixas doses de saflufenacil são suficientes para reduzir consideravelmente o rendimento de grãos de IPR Tuiuiú. Entretanto, D₅₀ muito baixo foi observado para sulfentrazone, 99,0 e 160,8 g ha⁻¹, respectivamente, para BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú. Isso demonstra que ambas as cultivares toleram doses altas de sulfentrazone.

Tabela 18 - Parâmetros das equações^(1,2,4), coeficiente de determinação (R²) e probabilidade (p) para a variável rendimento de grãos (kg ha⁻¹) sob influência da fitotoxicidade no experimento

sem plantas daninhas (SPD) e fitotoxicidade e plantas daninhas no experimento com plantas daninhas (CPD).

Variável	Tratamento	Parâmetros					R ²	p	
		a	b	D ₅₀	y ₀	D ₅₀ ia			
Rendimento de grãos	SPD	BRSMG Talismã: Saflufenacil	² 2786,655	-0,138	>1,5	-	>52,5	0,95	0,0012
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 2754,630	0,640	>1,5	-	>900	0,80	0,0170
	IPR Tuiuiú: Saflufenacil		² 2228,242	-0,675	1,429	-	50,0	0,87	0,0070
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	² 2186,696	1,037	-3,315	-	>900	0,79	0,0189
	CPD	BRSMG Talismã: Saflufenacil	² 2502,652	0,804	-0,085	-	>52,5	0,97	0,0006
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	² 3099,255	0,409	0,165	-	99,0	0,96	0,0007
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	⁴ 550,709	-0,077	0,947	419,106	33,1	0,23	0,3560
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	⁴ 787,963	0,026	0,268	627,297	160,8	0,98	0,0010

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros; ²Equação sigmoidal sigmoide de três parâmetros; ⁴Equação sigmoidal sigmoide de quatro parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D₅₀= dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%; y₀= assíntota mínima da curva. D₅₀ ia= dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

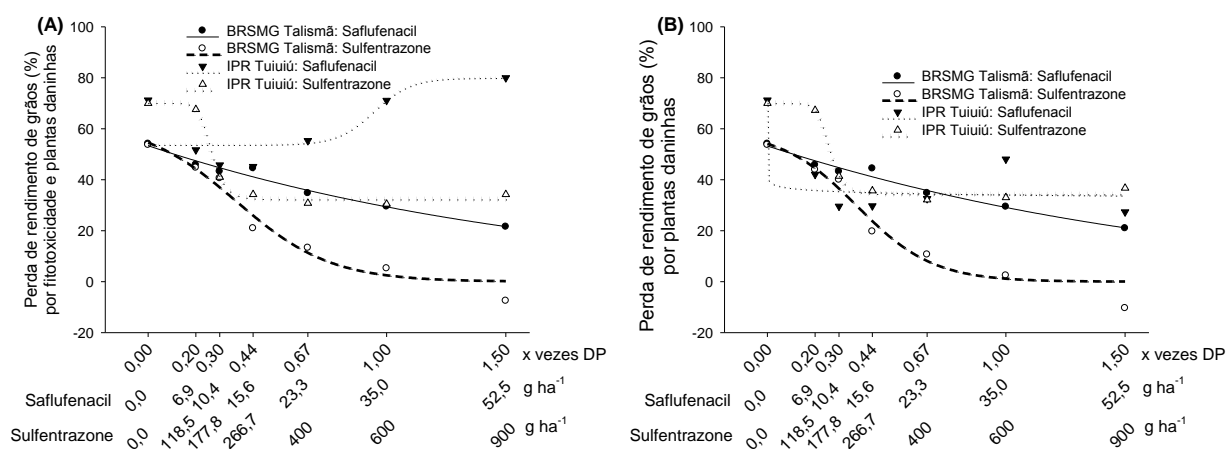
Considerando a TR e o controle de plantas daninhas, o incremento das doses dos herbicidas resultou em redução nas perdas de rendimento de grãos, com exceção da aplicação de saflufenacil na cultivar IPR Tuiuiú, em que a partir da dose de 23,3 g ha⁻¹ houve incremento nas perdas, alcançando 80% na dose de 52,5 g ha⁻¹ (**Figura 27A**). Nos tratamentos com uso de sulfentrazone na cultivar IPR Tuiuiú e de saflufenacil na BRSMG Talismã, ambos nas maiores doses, as perdas de rendimento foram de aproximadamente 35% e 20%, respectivamente, em relação à testemunha sem plantas daninhas e sem herbicida. As menores reduções na perda de rendimento em relação à testemunha foram observadas na BRSMG Talismã com o herbicida sulfentrazone, que ficou abaixo de 15% a partir de 400 g ha⁻¹, não havendo perda de rendimento na dose de 900 g ha⁻¹.

As maiores perdas de rendimento ocorreram nas testemunhas em que não foram empregados os herbicidas. A perda de rendimento proporcionada apenas pela interferência com plantas daninhas foi reduzida com o aumento das doses dos herbicidas (**Figura 27B**). As menores perdas foram proporcionadas pelo uso de sulfentrazone na cultivar BRSMG Talismã, em que a partir da dose de 400 g ha⁻¹ ficou abaixo de 11% e na dose de 900 g ha⁻¹ não houve perda. Vale destacar que com exceção dos tratamentos com sulfentrazone a partir da dose de 266,7 g ha⁻¹ na cultivar BRSMG Talismã, para os demais tratamentos as perdas de rendimento

foram sempre superiores a 20%, o que representa prejuízos econômicos intoleráveis.

A perda de rendimento ocasionada pela fitotoxicidade dos herbicidas permaneceu inferior a 3%, com exceção da aplicação de saflufenacil na cultivar IPR Tuiuiú, em que o aumento das doses gerou incremento da perda de rendimento de grãos, sendo de de aproximadamente 50% com 52,5 g ha⁻¹ (**Figura 27C**). Tais resultados estão de acordo com as avaliações visuais de fitotoxicidade, em que a TR de IPR Tuiuiú foi extremamente baixa na maior dose de saflufenacil, comprometendo o rendimento da cultivar (**Figura 13**).

Estes resultados demonstram que a perda de rendimento das cultivares é mais afetada pela interferência das plantas daninhas do que pela fitotoxicidade dos herbicidas à cultura, com exceção da aplicação de saflufenacil na cultivar IPR Tuiuiú, em que a dose de 52,5 g ha⁻¹ comprometeu mais o rendimento (**Figura 13 e Figura 27C**) do que a interferência das plantas daninhas (**Figura 16**).



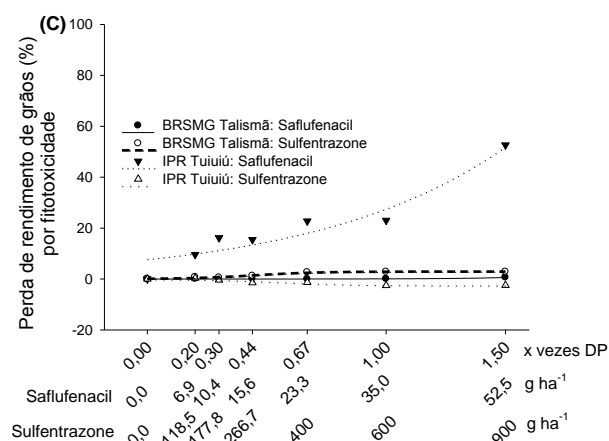


Figura 27 – Perda de rendimento de grãos (kg ha^{-1}) por fitotoxicidade e plantas daninhas (A), plantas daninhas (B) e fitotoxicidade (C), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.

Os valores de D_{50} para a perda de rendimento de grãos por fitotoxicidade e plantas daninhas foram variáveis. O D_{50} para saflufenacil foi maior $52,5 \text{ g ha}^{-1}$ para BRSMG Talismã e de $33,1 \text{ g ha}^{-1}$ para IPR Tuiuiú, enquanto que para sulfentrazone foi de $222,0 \text{ g ha}^{-1}$ para BRSMG Talismã e maior que 900 g ha^{-1} para IPR Tuiuiú (**Tabela 19**).

Para a perda de rendimento devido apenas a influência das plantas daninhas o de D_{50} para saflufenacil foi maior que $52,5 \text{ g ha}^{-1}$ para BRSMG Talismã e $9,7 \text{ g ha}^{-1}$ para IPR Tuiuiú, enquanto que para sulfentrazone foi de $225,6 \text{ g ha}^{-1}$ para BRSMG Talismã e $154,8 \text{ g ha}^{-1}$ para IPR Tuiuiú. Já, para a perda de rendimento devido a fitotoxicidade, o valor de D_{50} para saflufenacil foi maior que $52,5 \text{ g ha}^{-1}$ para ambas as cultivares e para sulfentrazone foi de $269,4 \text{ g ha}^{-1}$ para BRSMG Talismã e $328,8 \text{ g ha}^{-1}$ para IPR Tuiuiú.

Tabela 19 - Parâmetros da equação^(1,2,3,4), coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável perda de rendimento de grãos (kg ha^{-1}) por fitotoxicidade e plantas daninhas e pelo efeito isolado das plantas daninhas e da fitotoxicidade.

Variável	Tratamento	Parâmetros					R^2	p	
		A	b	D_{50}	y_0	$D_{50 \text{ ia}}$			
Perda de rendimento de grãos	Fitotoxicidade e plantas daninhas	BRSMG Talismã: Saflufenacil	² 634,844	-1,569	-3,748	-	>52,5	0,96	0,0006
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	² 62,855	-0,197	0,370	-	222,0	0,94	0,0013
	IPR Tuiuiú:	Saflufenacil	⁴ 26,308	0,077	0,947	53,671	33,1	0,23	0,3560
		Sulfentrazone	³ 37,844	9,195	-0,263	32,297	>900	0,99	0,0009
	Plantas	BRSMG Talismã:	² 270,769	-1,412	-1,988	-	>52,5	0,96	0,0005

daninhas	Saflufenacil							
	BRSMG Talismã:	² 59,223	-0,159	0,376	-	225,6	0,93	0,0019
	Sulfentrazone							
	IPR Tuiuiú:	¹ 71,216	0,060	0,276	-	9,7	0,65	0,0529
	Saflufenacil							
	IPR Tuiuiú:	³ -35,776	-9,376	0,258	70,0628	154,8	0,98	0,0013
Fitotoxicidade	Sulfentrazone							
	BRSMG Talismã:	² 39932707,32	0,232	>1,5	-	>52,5	0,92	0,0029
	Saflufenacil							
	BRSMG Talismã:	² 2,920	0,134	0,449	-	269,4	0,95	0,0009
	Sulfentrazone							
	IPR Tuiuiú:	² 3723267865,54	0,790	>1,5	-	>52,5	0,88	0,0064
Fitotoxicidade	Saflufenacil							
	IPR Tuiuiú:	² -2,522	0,159	0,548	-	328,8	0,83	0,0126
	Sulfentrazone							

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros; ²Equação sigmoidal sigmoide de três parâmetros; ³Equação sigmoidal logística de quatro parâmetros; ⁴Equação sigmoidal sigmoide de quatro parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D₅₀= dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%; y₀= assíntota mínima da curva. D₅₀ ia= dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

Com exceção da cultivar BRSMG Talismã em combinação com o herbicida saflufenacil no experimento SPD, em que houve efeitos apenas da fitotoxicidade, os maiores rendimentos de grãos foram apresentados pelas cultivares quando em combinação com o herbicida sulfentrazone (**Figura 26**). Isto se deve à baixa fitotoxicidade do herbicida à cultivar e ao aumento no controle das plantas daninhas com o aumento da dose. Esta mesma cultivar apresentou os menores rendimentos de grãos nas maiores doses de saflufenacil, podem ser atribuído aos efeitos negativos tanto de fitotoxicidade do herbicida, principalmente na maior dose, quanto do efeito negativo das plantas daninhas. Apenas para a cultivar BRSMG Talismã combinada com o herbicida sulfentrazone o rendimento de grãos de 3015 kg ha⁻¹ excedeu o da testemunha com capina (2803,9 kg ha⁻¹).

Pagnoncelli (2016), trabalhando com o herbicida ethoxysulfuron (inibidor da enzima ALS) em pós-emergência do feijão em competição com plantas daninhas, também constatou incremento no rendimento da cultura conforme o aumento das doses do herbicida, porém a fitotoxicidade para o feijão impediu que a produtividade de grãos fosse similar à obtida na testemunha com capina e sem herbicida.

No presente estudo, constatou-se que a cultivar BRSMG Talismã apresenta maior tolerância aos herbicidas saflufenacil e sulfentrazone em relação à IPR Tuiuiú em condições de campo. Tolerância diferencial de genótipos de feijão ao

herbicida sulfentrazone também foi contatado por Hekmat et al. (2007), que em aplicação de 840 g ha⁻¹ sulfentrazone em pré-emergência houve redução no rendimento de grãos de 47, 44, 26 e 52%, respectivamente, para o feijão “Black”, “Cranberry”, “Otebo” e “White”, mesmo havendo injúria visual inferior a 17,9%. Contudo, não foi constatada redução do rendimento de grãos para feijão “Kidney”, “Yellow eye”, “Brown” e “Pinto”, sendo os últimos dois mais produtivos e mais tolerantes. Entretanto, na dose de 420 g ha⁻¹, dose similar a empregada neste trabalho (400 g ha⁻¹), Hekmat et al. (2007), não observaram diferença entre o rendimento de grãos das oito classes testadas (mencionadas acima) em relação à testemunha sem aplicação.

A elevada fitotoxicidade do herbicida saflufenacil já fora evidenciada por Soltani, Shropshire e Sikkema (2010), em aplicação de 200 g ha⁻¹ de saflufenacil em pré-emergência, havendo redução no rendimento de grãos de 56 a 99% em feijão “Adzuki”, “Cranberry”, “Lima”, “Snap” e “White”, e injúria visual variando entre 88 e 99%. Tais injúrias se refletiram em rendimento muito baixos, 44, 1, 8 e 6% em relação ao controle não tratado, respectivamente. Redução no rendimento de grãos por aplicação de saflufenacil também foi constatada por Soltani, Shropshire e Sikkema (2018), empregando 50 g ha⁻¹ sobre o solo revolvido após a implantação da cultura do feijão, que resultou em rendimento de 64, 83 e 48% em relação ao controle não tratado, respectivamente, para feijão “Kidney”, “Small red” e “White”.

A correlação entre a perda de rendimento devido a fitotoxicidade e as plantas daninhas com as perdas geradas apenas pelas plantas daninhas foi alta (0,82) e quando correlacionada com as perdas geradas apenas pela fitotoxicidade a correlação foi menor (0,45), demonstrando a grande influência das plantas daninhas na perda total de rendimento das cultivares BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú (**Figura 28C**).

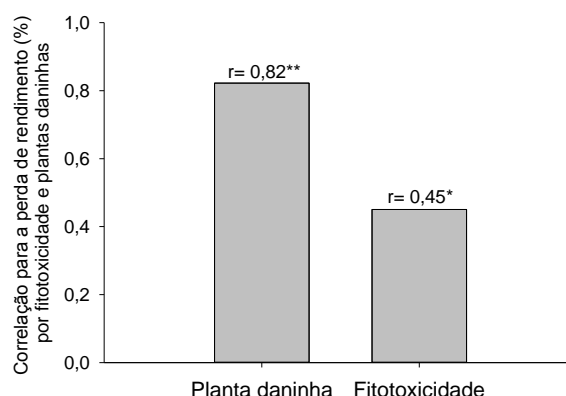


Figura 28 – Correlação linear de Pearson entre a perda de rendimento por fitotoxicidade e plantas daninhas com a perda de rendimento sob influência apenas das plantas daninhas ou apenas da fitotoxicidade. r = coeficiente de correlação. * e ** significativo a 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente.

Neste local de condução dos experimentos, o herbicida saflufenacil apresentou nível de controle satisfatório das plantas daninhas apenas na maior dose, $52,5 \text{ g ha}^{-1}$, e mesmo assim a densidade de plantas daninhas m^{-2} permaneceu alta e houve alta fitotoxicidade para o feijão.

De modo geral o herbicida sulfentrazone proporcionou menor impacto negativo sobre a tolerância relativa de ambas as cultivares, maior nível de controle geral das plantas daninhas, maior redução na densidade das plantas daninhas e menor perda por fitotoxicidade e plantas daninhas. Nível satisfatório de controle visual de plantas daninhas foi observado a partir da dose de 400 g ha^{-1} de sulfentrazone, a qual foi seletiva para as cultivares BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú. Contudo, apenas a cultivar BRSMG Talismã na maior dose do herbicida sulfentrazone (900 g ha^{-1}) conseguiu proporcionar a maior redução na densidade geral de plantas daninhas m^{-2} , que se situou próxima a zero, determinando ausência de perdas de rendimento e destacando-se, assim, por ser o único tratamento a superar a produtividade da testemunha sem herbicida.

4.4.2 Experimentos conduzidos em Verê

Neste local foi conduzido um experimento sem plantas daninhas (SPD) com as cultivares de feijão BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú, fornecendo resultados isolados para a fitotoxicidade dos herbicidas saflufenacil e sulfentrazone nas

diferentes doses. Um segundo experimento foi conduzido com plantas daninhas (CPD), em densidade de 68 plantas m^{-2} (aos 28 DAA) na média das quatro testemunhas sem herbicida, para as mesmas cultivares de feijão, herbicidas e doses, fornecendo resultados de interação entre a fitotoxicidade e o efeito das plantas daninhas.

4.4.2.1 Seletividade às cultivares de feijão

A TR das cultivares de feijão aos 14 DAA dos herbicidas saflufenacil e sulfentrazone no experimento SPD e CPD foi reduzida a medida em que as doses foram incrementadas (**Figura 29A e B**). A cultivar BRSMG Talismã apresentou TR acima de 80% para ambos os herbicidas e doses, com exceção da dose de 52,5 g ha^{-1} de saflufenacil, em que foi reduzida para próximo de 60% em ambos os experimentos SPD e CPD. A cultivar IPR Tuiuiú, sob o tratamento de sulfentrazone, mostrou tolerância similar a BRSMG Talismã, que mesmo com 900 g ha^{-1} manteve a TR em 80%, tanto no SPD quanto no CPD. De forma oposta, a TR de IPR Tuiuiú ao saflufenacil foi reduzida drasticamente ainda em doses muito baixas como 10,4 g ha^{-1} em que foi inferior a 75% e quando na dose de 52,5 g ha^{-1} ficou abaixo de 10%, tanto no SPD quanto no CPD.

A fitotoxicidade dos herbicidas se intensificou com o passar do tempo e aos 28 DAA a TR das cultivares apresentou redução com a elevação das doses (**Figura 29C e D**). A cultivar BRSMG Talismã apresentou TR acima de 80% com a aplicação de saflufenacil até a dose de 23,3 g ha^{-1} . No entanto, foi drasticamente reduzida a próximo de 35% em ambos os experimentos na dose de 52,5 g ha^{-1} . Já, o uso sulfentrazone na dose de 900 g ha^{-1} nessa mesma cultivar resultou em TR de cerca de 70% em ambos os experimentos SPD e CPD. A aplicação de sulfentrazone até 400 g ha^{-1} em IPR Tuiuiú, resultou em TR superior a 75%, em ambos os experimentos SPD e CPD. A TR dessa cultivar foi reduzida com o aumento da dose para 900 g ha^{-1} de sulfentrazone. Diferentemente de sulfentrazone, o herbicida saflufenacil mostrou-se muito fitotóxico para IPR Tuiuiú, resultando em drástica redução desta variável mesmo em doses baixas, apresentando TR inferior a 5% com 52,5 g ha^{-1} .

Para ambas as cultivares o herbicida saflufenacil ocasionou lesões no hipocótilo e poucos pontos de necrose nas folhas, sintomas que evoluíram com o aumento das doses, havendo alta mortalidade de plantas principalmente nas doses de 35 e 52,5 g ha⁻¹ para a cultivar BRSMG Talismã e ainda em doses inferiores a estas para a cultivar IPR Tuiuiú. Os sintomas gerados pelo herbicida sulfentrazone nas duas cultivares foi o encarquilhamento das folhas, que aumento com a elevação das doses, sendo mais pronunciado na cultivar IPR Tuiuiú.

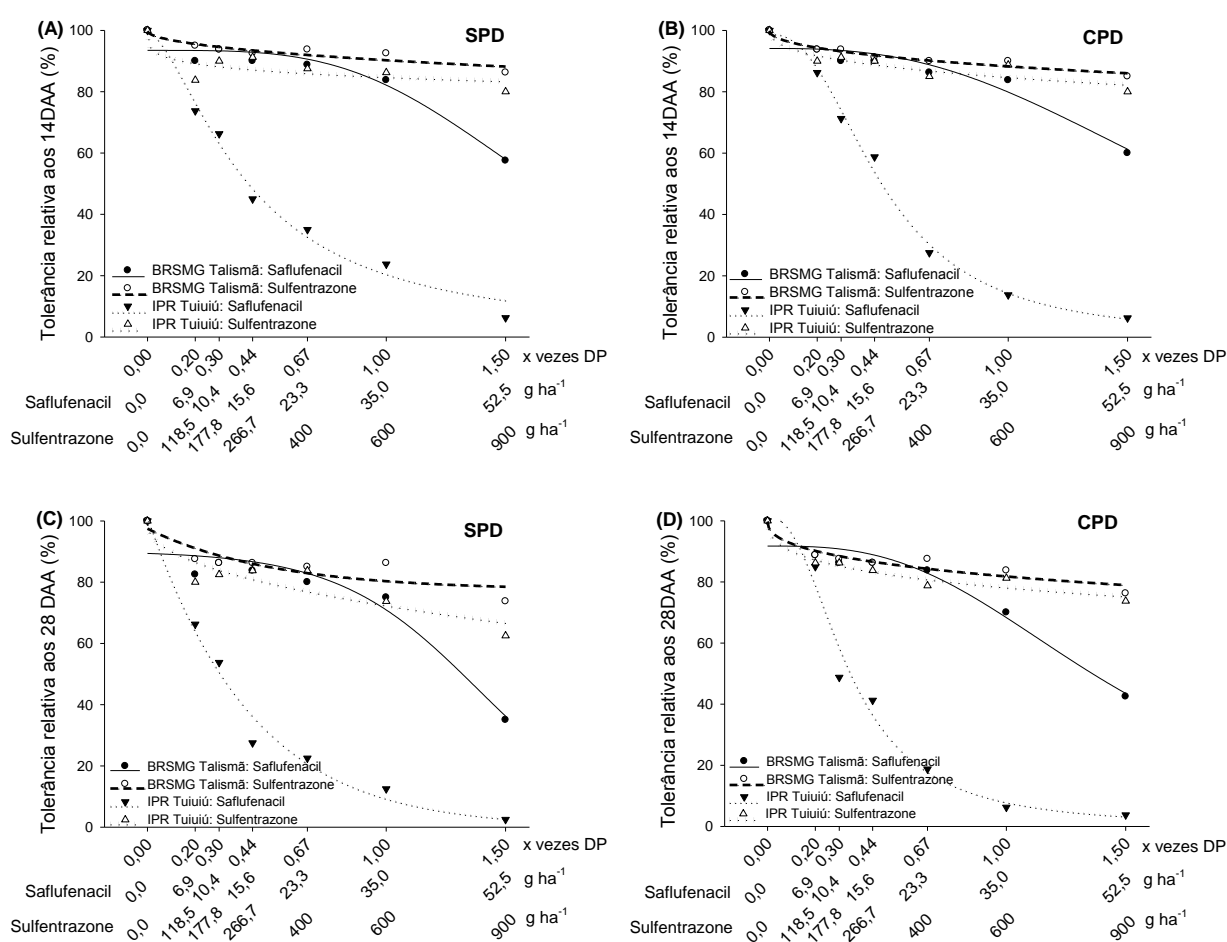


Figura 29 – Tolerância relativa (% relativa à testemunha) das cultivares de feijão no experimento sem plantas daninhas (SPD) aos 14 (A) e 28 DAA (C) e no experimento com plantas daninhas (CPD) aos 14 (B) e 28 DAA (D), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.

A alta TR manifestada para sulfentrazone resultou em D₅₀ superior a 900 g ha⁻¹ nas duas cultivares aos 14 e 28 DAA em ambos os experimentos SPD e CPD. Os valores de D₅₀ para saflufenacil combinado a BRSMG Talismã em ambos

os experimentos SPD e CPD foi superior ou próximo de 52,5 g ha⁻¹, mas para a cultivar IPR Tuiuí foi inferior a 17 g ha⁻¹, com exceção do experimento SPD na avaliação de 28 DAA, em que o D₅₀ foi superestimado (**Tabela 20**).

Tabela 20 - Parâmetros das equações^(1,3), coeficiente de determinação (R²) e probabilidade (p) para a variável tolerância relativa (% relativa à testemunha) das cultivares de feijão no experimento sem (SPD) e com plantas daninhas (CPD) aos 14 e 28 DAA.

Variável	Tratamento	Parâmetros					R ²	p		
		a	b	D ₅₀	y ₀	D ₅₀ ia				
Tolerância relativa aos 14 DAA	SPD	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 93,481	3,682	>1,5	-	>52,5	0,91	0,0038	
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 99,705	0,546	>1,5	-	>900	0,79	0,0198	
		IPR Tuiuí: Saflufenacil	¹ 99,433	1,579	0,424	-	14,8	0,98	0,0002	
		IPR Tuiuí: Sulfentrazone	¹ 99,821	0,252	>1,5	-	>900	0,59	0,0731	
	CPD	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 94,115	2,717	>1,5	-	>52,5	0,88	0,0060	
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 99,906	0,499	>1,5	-	>900	0,94	0,0016	
		IPR Tuiuí: Saflufenacil	¹ 98,806	2,371	0,473	-	16,6	0,99	<0,0001	
		IPR Tuiuí: Sulfentrazone	¹ 99,806	0,447	>1,5	-	>900	0,80	0,0182	
	Tolerância relativa aos 28 DAA	SPD	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 90,203	-0,294	1,383	-	48,4	0,88	0,0058
			BRSMG Talismã: Sulfentrazone	³ 72659,585	-0,522	-4,276	72736,945	>900	0,50	0,1955
			IPR Tuiuí: Saflufenacil	¹ 1004,575	-0,401	-0,880	-	>52,5	0,98	0,0002
			IPR Tuiuí: Sulfentrazone	³ 42005,615	0,477	>1,5	-41906,77	>900	0,69	0,0986
CPD		BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 91,755	2,894	1,447	-	50,6	0,92	0,0027	
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 99,716	0,451	>1,5	-	>900	0,88	0,0067	
		IPR Tuiuí: Saflufenacil	¹ 101,383	101,383	0,341	-	11,9	0,97	0,0004	
		IPR Tuiuí: Sulfentrazone	¹ 99,938	0,403	>1,5	-	>900	0,93	0,002	

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros; ³Equação sigmoidal logística de quatro parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D₅₀= dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%; y₀= assíntota mínima da curva. D₅₀ ia= dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

As maiores densidades de feijão foram observadas na cultivar BRSMG Talismã (**Figura 30A e B**), que apresentou considerável redução apenas na maior dose de saflufenacil, ficando inferior a 8 plantas m⁻². Ambas as cultivares tiveram mínima modificação na densidade com a aplicação de sulfentrazone. Porém, a aplicação de 15,6 g ha⁻¹ de saflufenacil resultou em drástica redução de estande de plantas da IPR Tuiuí, situando-a abaixo de 7 plantas m⁻² e com 52,5 g ha⁻¹ inferior a 2 plantas m⁻² em ambos os experimentos SPD e CPD.

Diferentemente do observado no experimento de Pato Branco, em que a densidade foi maior para IPR Tuiuiú no SPD e CPD, em Verê a densidade permaneceu maior na BRSMG Talismã em ambos os experimentos, com e sem plantas daninhas.

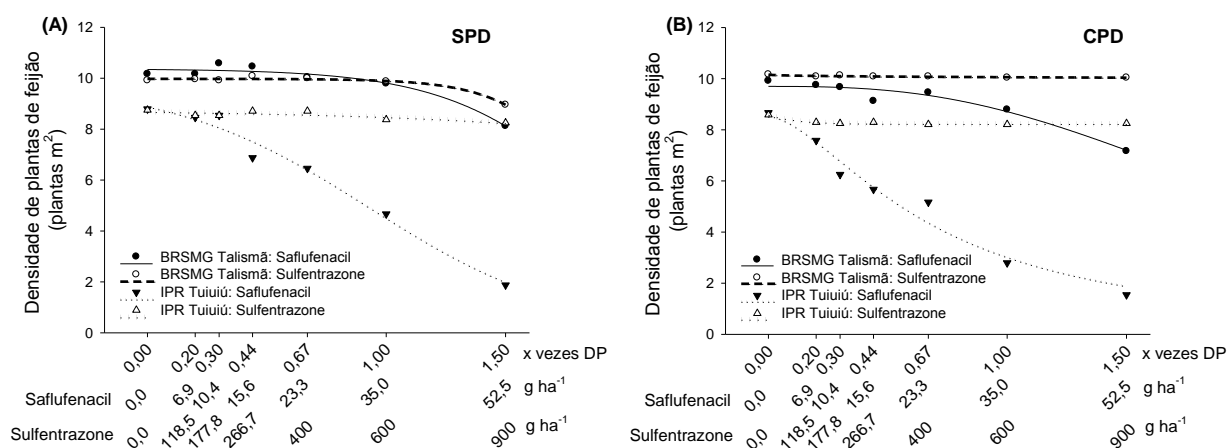


Figura 30 – Densidade de plantas de feijão (plantas m⁻²) no experimento sem plantas daninhas (SPD) (A) e com plantas daninhas (CPD) (B), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.

Nos experimentos SPD e CPD para ambas as cultivares os valores de D₅₀ foram superiores a 52,5 g ha⁻¹ de saflufenacil e superiores a 900 g ha⁻¹ de sulfentrazone. Isso apenas não correu para a cultivar IPR Tuiuiú combinada ao saflufenacil, em que foi de 32,5 e 24,1 g ha⁻¹, respectivamente, no experimento SPD e CPD (**Tabela 21**). Esse D₅₀ baixo deve-se a baixa TR que resultou na alta mortalidade de plantas mesmo em doses baixa de saflufenacil sobre IPR Tuiuiú .

Tabela 21 - Parâmetros das equações^(1,2,4), coeficiente de determinação (R²) e probabilidade (p) para a variável densidade de plantas de feijão (plantas m⁻²) no experimento sem plantas daninhas (SPD) e com plantas daninhas (CPD).

Variável	Tratamento	Parâmetros				R ²	p	
		a	b	D ₅₀	D ₅₀ ia			
Densidade de feijão	SPD	BRSMG Talismã: Saflufenacil	² 10,368	-0,316	>1,5	>52,5	0,93	0,0020
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	² 9,975	-0,190	>1,5	>900	0,96	0,0006
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	² 9,833	-0,415	0,928	32,5	0,97	0,0003
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	² 8,763	-0,794	>1,5	>900	0,54	0,0953
Densidade de feijão	CPD	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 9,697	2,756	>1,5	>52,5	0,92	0,0028
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 10,165	0,392	>1,5	>900	0,78	0,0206
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 8,526	1,622	0,688	24,1	0,95	0,0009
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	⁴ 0,1180	-2,097	>1,5	>900	0,92	0,0142

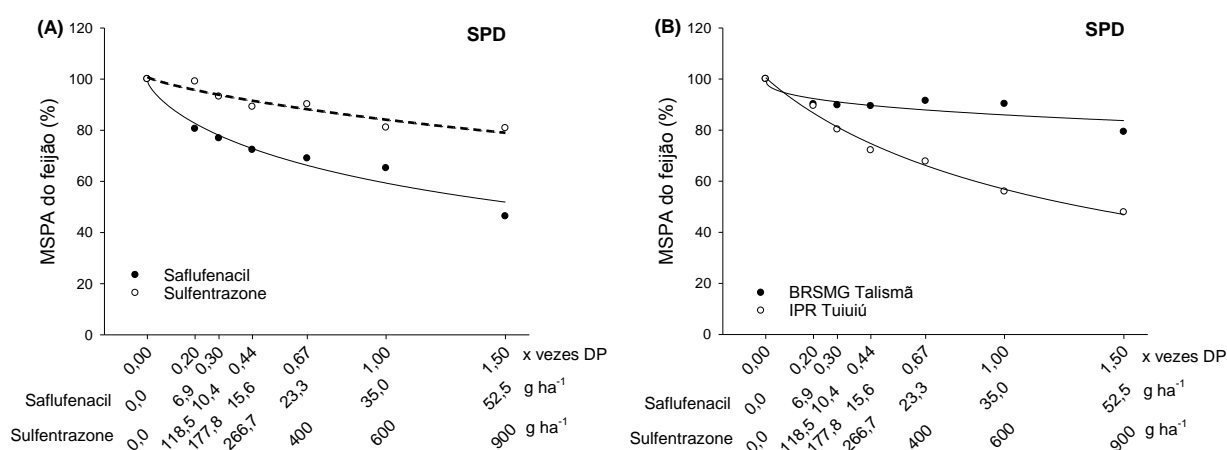
¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros; ²Equação sigmoidal sigmoide de três parâmetros;

⁴Equação sigmoidal sigmoide de quatro parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D₅₀= dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. D₅₀ ia= dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

No experimento SPD a elevação das doses dos herbicidas reduziu a MSPA do feijão, na média das cultivares. Sulfentrazone mostrou-se menos fitotóxico do que saflufenacil e em todas as doses apresentou valores superiores desta variável. Para a maior dose de sulfentrazone, a MSPA foi entorno de 80%, enquanto na maior dose de saflufenacil esta variável ficou entorno de 45%, (**Figura 31A**). Na média dos herbicidas, o aumento das doses proporcionou maior redução da MSPA na cultivar IPR Tuiuiú que ficou abaixo de 50% na maior dose, em comparação a BRSMG Talismã que nesta mesma dose ficou acima de 75% (**Figura 31B**).

Na média das doses, tanto para BRSMG Talismã quanto IPR Tuiuiú o herbicida sulfentrazone resultou em MSPA superior ao saflufenacil. Na comparação de cultivares dentro de cada herbicida, IPR Tuiuiú foi muito afetada pelo saflufenacil, resultando em baixa MSPA, não havendo diferenças significativas entre as cultivares com a aplicação de sulfentrazone (**Figura 31C**).

No experimento CPD a elevação das doses gerou menores reduções de MSPA até a maior dose de ambos os herbicidas, com exceção de saflufenacil para IPR Tuiuiú (**Figura 31D**). Os resultados observados para esta variável apresentam comportamento similar ao constatado no experimento conduzido em Pato Branco.



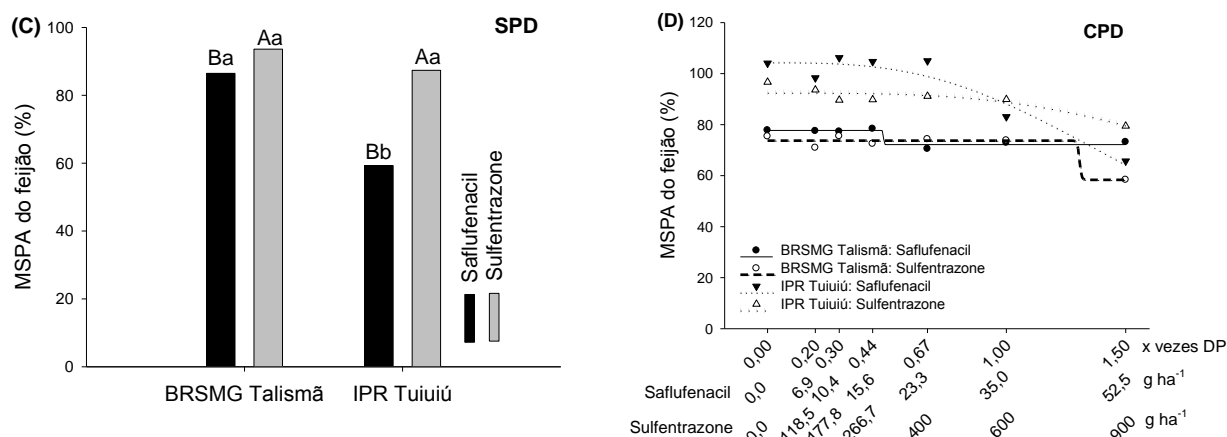


Figura 31 – Matéria seca da parte aérea do feijão (% relativa à testemunha) considerando a interação entre herbicidas e doses (A), entre cultivares e doses (B) e entre cultivares e herbicidas (C) no experimento sem plantas daninhas (SPD), e no experimento com plantas daninhas (CPD), considerando a interação tripla (D). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula comparando herbicidas dentro de cultivar e minúsculas comparando cultivares dentro de herbicidas, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). DP: dose padrão.

Nos experimentos SPD e CPD para ambas as cultivares os valores de D_{50} foram superiores a 52,5 g ha⁻¹ de saflufenacil e superiores a 900 g ha⁻¹ de sulfentrazone (**Tabela 22**).

Tabela 22 - Parâmetros das equações^(1,3), coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável matéria seca da parte aérea (MSPA) do feijão (% relativa à testemunha) no experimento sem (SPD) e com plantas daninhas (CPD).

Variável	Tratamento	Parâmetros					R^2	p	
		a	b	D_{50}	y_0	D_{50} ia			
MSPA do feijão	SPD	Saflufenacil	¹ 99,247	0,752	>1,5	-	>52,5	0,92	0,0025
		Sulfentrazone	¹ 100,840	0,816	>1,5	-	>900	0,85	0,0095
	CPD	BRSMG Talismã	¹ 99,564	0,438	>1,5	-	-	0,60	0,0706
		IPR Tuiuiú	¹ 100,548	0,973	1,311	-	-	0,98	0,0001
MSPA do feijão	SPD	BRSMG Talismã:	³ -5,551	-371,50	-0,485	77,712	>52,5	0,82	0,0431
		Saflufenacil							
	CPD	BRSMG Talismã:	³ 15,362	303,847	-1,306	58,341	>900	0,86	0,0314
		Sulfentrazone							
	CPD	IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 104,435	3,016	>1,5	-	>52,5	0,88	0,0059
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 92,563	3,390	>1,5	-	>900	0,70	0,0397

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros; ³Equação sigmoidal logística de quatro parâmetros; ⁴Equação sigmoidal sigmoide de quatro parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%; y_0 = assíntota mínima da curva. D_{50} ia= dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

4.4.2.2 Controle de plantas daninhas

O controle geral das plantas daninhas aos 21 DAA foi maior com o herbicida sulfentrazone desde a dose de 400 g ha⁻¹ resultou em controle eficiente, sendo superior a 75% para ambas as cultivares (**Figura 32A**). Com o uso de saflufenacil controle acima de 75% em ambas as cultivares ocorreu apenas com uso da maior dose (52,5 g ha⁻¹). Observou-se que aos 28 DAA os níveis de controle se mantiveram similares aos 21 DAA (**Figura 32B**).

Os níveis de controle das plantas daninhas apresentaram reflexos nas densidades de plantas daninhas aos 21 DAA, sendo reduzidas com a elevação das doses de cada herbicida (**Figura 32C**), corroboram com o observado no experimento conduzido no município de Pato Branco.

Aos 28 DAA, sulfentrazone proporcionou maior redução na densidade de plantas daninhas que ficou abaixo de 15 plantas m⁻² na maior dose para ambas as cultivares (**Figura 32D**). Com 400 g ha⁻¹ de sulfentrazone o número de plantas m⁻² foi reduzido para menos de 30 em ambas as cultivares.

A dose de 52,5 g ha⁻¹ de saflufenacil necessária para atingir nível satisfatório de controle das plantas daninhas, não foi seletiva para as cultivares avaliadas. Já, a dose de 400 g ha⁻¹ sulfentrazone apresentou nível satisfatório de controle das plantas daninhas e foi seletiva para as cultivares BRSMG Talismã e IPR IPR Tuiuiú (**Figura 29**). Entretanto, a densidade de plantas daninhas nesta dose permaneceu elevada, sendo a máxima redução obtida com uso de 900 g ha⁻¹ de sulfentrazone (**Figura 32C e D**).

Diferentemente do observado no experimento de Pato Branco, em Verê houve emergência de novo fluxo de plantas daninhas entre 21 e 28 DAA, que se manteve posteriormente, constituindo a densidade de plantas daninhas que exerceu a competição ao longo do desenvolvimento da cultura. Além disso, a densidade de plantas daninhas foi elevada em ambos os locais, porém foi menor em Verê, como é possível constatar comparando-se as testemunhas sem aplicação de herbicida entre os locais de teste.

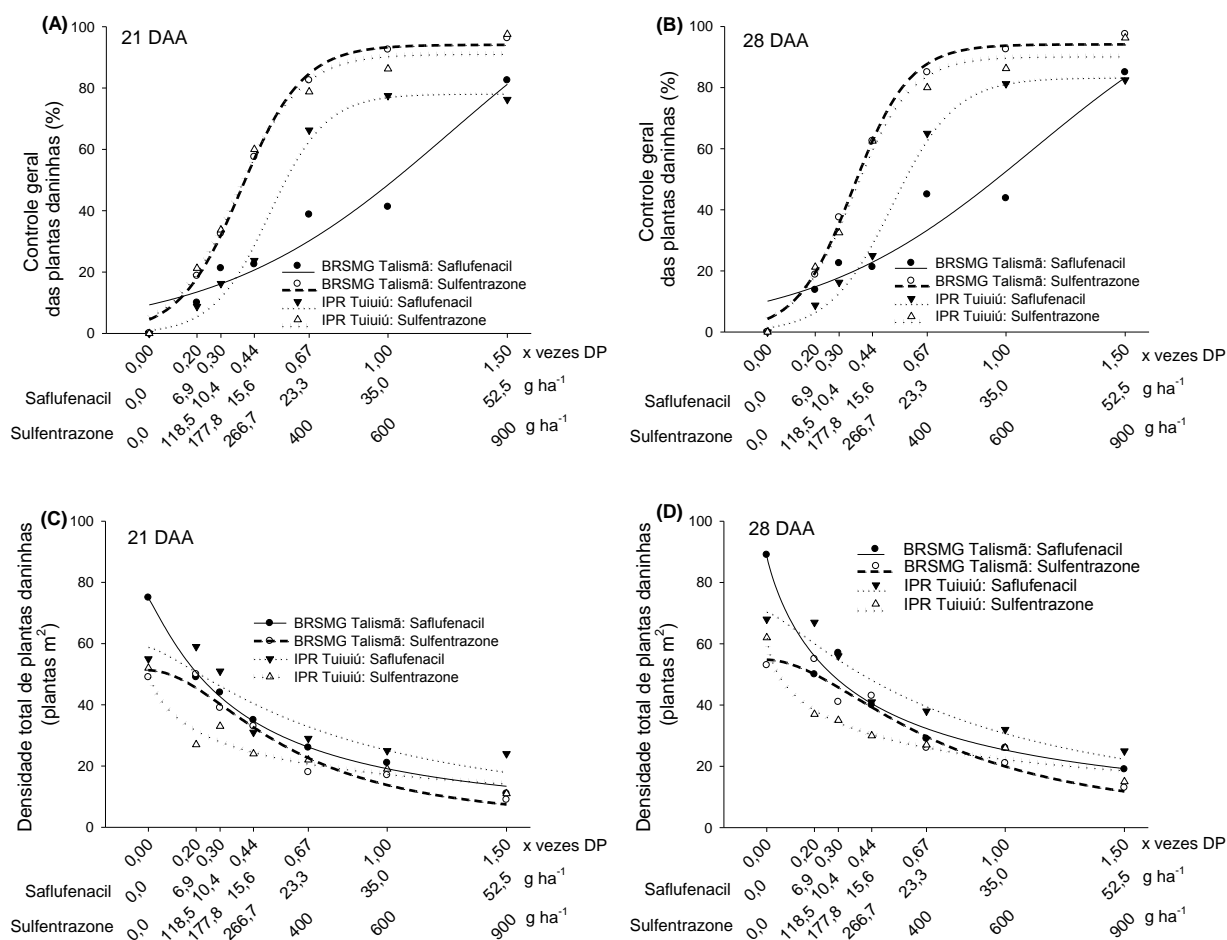


Figura 32 – Controle geral das plantas daninhas (%) aos 21 (A) e 28 DAA (B) e densidade de plantas daninhas (plantas m⁻²) aos 21 (C) e 28 DAA (D), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.

Os melhores níveis de controle e menores densidades proporcionadas por sulfentrazone geraram valores de D_{50} baixos. Os valores de D_{50} para controle de geral e densidade de plantas daninhas para o herbicida sulfentrazone foram inferiores a 355 g ha⁻¹, que representa quase metade da dose recomendada para o manejo de plantas daninhas em pré-emergência na cultura da soja (600 g ha⁻¹).

Os valores de D_{50} para controle geral das plantas daninhas com o uso de saflufenacil foi de 44,3 e 39,1 g ha⁻¹ para a cultivar BRSMG Talismã e de 17,5 e 18,2 g ha⁻¹ para IPR Tuiuiú aos 21 e 28 DAA, respectivamente. Ou seja, doses menores de saflufenacil são suficientes para gerar baixos valores de D_{50} para IPR Tuiuiú.

Para a densidade geral de plantas daninhas os valores de D_{50} com o uso de saflufenacil foi de 13,5 e 12,7 g ha⁻¹ para a cultivar BRSMG Talismã e de 28,1 e 28,6 g ha⁻¹ para IPR Tuiuiú aos 21 e 28 DAA, respectivamente (**Tabela 23**).

Tabela 23 - Parâmetros das equações^(1,2), coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis controle geral (%) e densidade das plantas daninhas (plantas m⁻²) aos 21 e 28 DAA.

Variável	Tratamento	Parâmetros				R^2	p	
		a	b	D_{50}	$D_{50\text{ ia}}$			
Controle geral das plantas daninhas	21 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	² 131,628	0,491	1,265	44,3	0,91	0,0034
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	² 94,086	0,129	0,385	231,0	0,99	<0,0001
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	² 78,186	0,118	0,501	17,5	0,98	0,0001
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	² 91,159	0,132	0,368	220,8	0,8	0,0002
	28 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	² 120,078	0,467	1,117	39,1	0,89	0,0054
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	² 94,144	0,118	0,359	215,4	0,99	<0,0001
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	² 83,330	0,131	0,521	18,2	0,99	<0,0001
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	² 90,248	0,120	0,358	214,8	0,98	0,0002
Densidade geral das plantas daninhas	21 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 74,765	1,123	0,386	13,5	0,99	<0,0001
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 51,279	1,903	0,591	354,6	0,94	0,0014
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 58,893	1,310	0,803	28,1	0,73	0,0322
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 51,747	0,7023	0,379	227,4	0,91	0,0036
	28 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 88,709	0,904	0,362	12,7	0,94	0,0014
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 54,786	1,812	0,735	441,0	0,92	0,0026
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 70,421	1,250	0,816	28,6	0,90	0,0045
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 61,873	0,656	0,419	251,4	0,96	0,0006

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros; ²Equação sigmoidal sigmoide de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. $D_{50\text{ ia}}$ = dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

Tal resultado pode ter sido influenciado pelas condições climáticas nos 8 dias após a implantação do experimento, em que a precipitação acumulada foi de 57,4 mm, representando apenas 44,4% da precipitação acumulada em Pato Branco (**Figura 2**). A precipitação moderada pode ter influenciado para que os herbicidas entrassem na solução do solo, mas sem potencial de lixiviação e que o escoamento superficial tenha sido pouco pronunciado em função dos menores volumes ocorridos em cada dia. Este menor volume acumulado de chuva disponibilizou água por menor

período de tempo, fazendo com que apenas parte das sementes das daninhas semeadas viessem a germinar.

Na análise de solo foi observada que o teor matéria orgânica no município de Verê estava baixo, cerca de $29,24 \text{ g dm}^{-3}$, equivalente a 2,9%. Quando o teor de matéria orgânica do solo está baixo o saflufenacil possui menor afinidade por ela, resultando em maior quantidade de herbicida presente na solução do solo capaz de exercer atividade herbicida (MONQUERO et al., 2012). Assim, a permanência de quantidade significativa de herbicida na camada superficial do solo, poderia favorecer sua ação de controle, em relação ao experimento de Pato Branco. Após a avaliação de densidade aos 21 DAA, ocorreram novas precipitações com acumulado de 60,4 mm, que pode ter favorecido germinação de sementes viáveis que não haviam germinado anteriormente, resultando em leve aumento na densidade de plantas daninhas aos 28 DAA.

As análises de níveis de controle aos 21 DAA para a espécie *E. heterophylla* revelaram controle eficiente com sulfentrazone a partir da dose de 400 g ha^{-1} , ficando superior a 85% em ambas as cultivares (**Figura 33A**). A elevação das doses de saflufenacil proporcionou incremento nos níveis de controle, contudo, níveis satisfatórios somente foram obtidos com $52,5 \text{ g ha}^{-1}$ na cultivar BRSMG Talismã, que ficou acima de 75%. Aos 28 DAA, os níveis de controle se mantiveram superiores para sulfentrazone e a partir da dose de 400 g ha^{-1} houve controle superior a 85% em ambas as cultivares. Quanto ao saflufenacil, níveis acima de 75% somente foram obtidos com $52,5 \text{ g ha}^{-1}$ na cultivar BRSMG Talismã (**Figura 33B**).

Os maiores níveis de controle obtidos com uso de sulfentrazone resultaram em menores densidades desta planta daninha, situando-se abaixo de 7 plantas m^{-2} a partir da dose de 400 g ha^{-1} na BRSMG Talismã e abaixo de 10 plantas m^{-2} a partir da dose de $118,5 \text{ g ha}^{-1}$ na IPR Tuiuiú. Para o herbicida saflufenacil densidades inferiores a 10 plantas m^{-2} foram observadas apenas nas três maiores doses na cultivar BRSMG Talismã e na dose de 35 g ha^{-1} na IPR Tuiuiú (**Figura 33C**). Aos 28 DAA o comportamento da densidade para os herbicidas foi similar (**Figura 33D**). Os níveis de controle e densidades para esta espécie seguiram a

mesma distribuição dos valores observados no experimento realizado em Pato Branco.

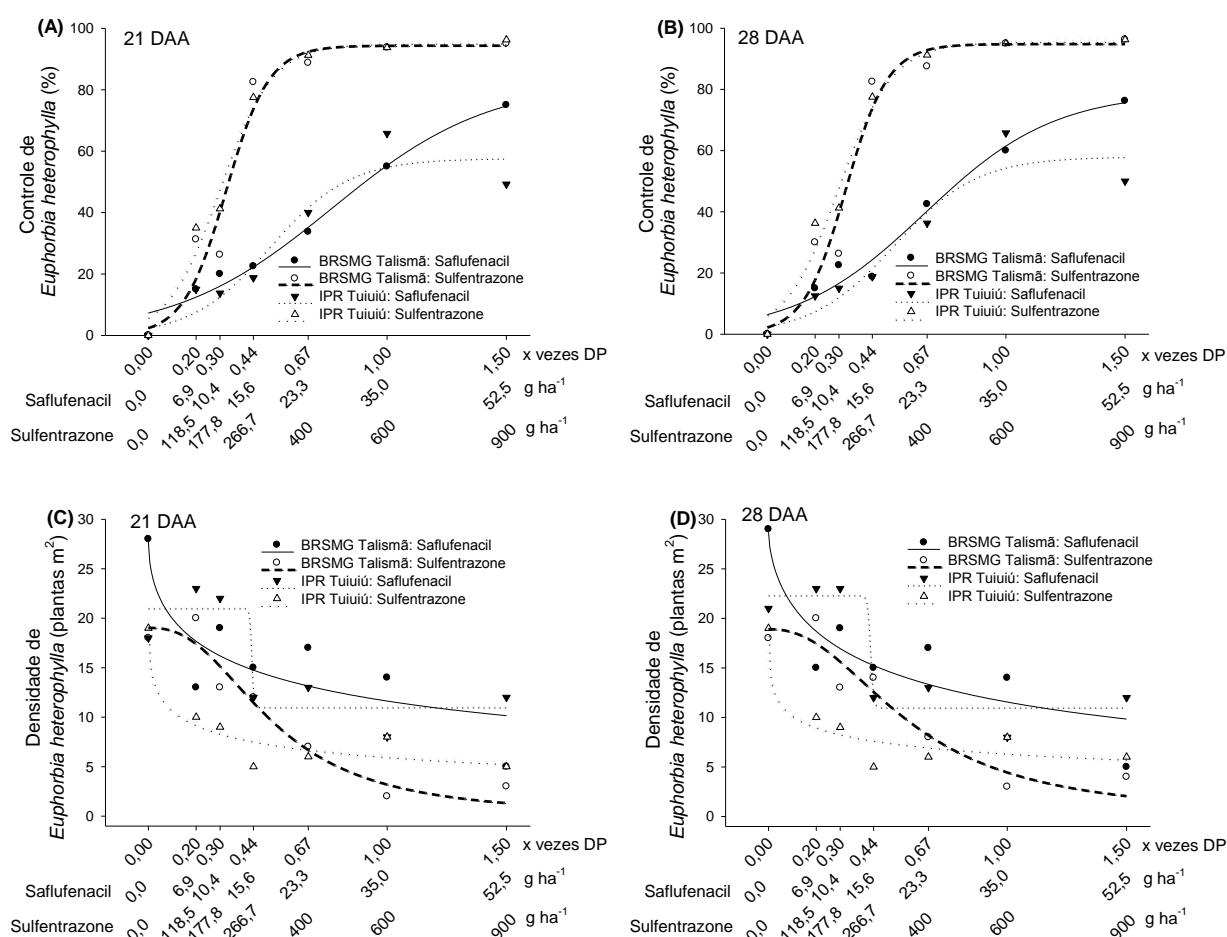


Figura 33 – Controle (%) de *Euphorbia heterophylla* aos 21 (A) e 28 DAA (B) e densidade aos 21 (C) e 28 DAA (D), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.

Os valores de D_{50} para controle de *E. heterophylla* foram inferiores a 27 g ha⁻¹ de saflufenacil em todos os tratamentos e abaixo de 200 g ha⁻¹ de sulfentrazone. Para a densidade os D_{50} foram inferiores a 20 g ha⁻¹ de saflufenacil e a 360 g ha⁻¹ de sulfentrazone para ambas as cultivares e épocas de avaliação. Isso demonstra que o controle dessa espécie é maior com o herbicida sulfentrazone (Tabela 24).

Tabela 24 - Parâmetros das equações^(1,2,3), coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis controle de *Euphorbia heterophylla* (%) aos 21 e 28 DAA e densidade aos 21 e 28 DAA considerando a interação tripla.

Variável	Tratamento	Parâmetros	R^2	p
----------	------------	------------	-------	-----

		a	b	D ₅₀	y ₀	D ₅₀ ia		
Controle de <i>Euphorbia</i> <i>heterophylla</i>	BRSMG Talismã: Saflufenacil	² 282,844	0,329	0,769	-	26,9	0,97	0,0004
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone	² 94,343	0,089	0,326	-	195,6	0,92	0,0024
	IPR Tuiuiú: Saflufenacil	² 57,759	0,166	0,508	-	17,8	0,88	0,0068
	IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	² 95,044	0,109	0,2982	-	178,9	0,97	0,0003
	BRSMG Talismã: Saflufenacil	² 79,085	0,271	0,660	-	23,1	0,96	0,0008
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone	² 94,793	0,088	0,329	-	197,4	0,93	0,0022
	IPR Tuiuiú: Saflufenacil	² 58,102	0,173	0,529	-	18,5	0,88	0,0060
	IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	² 95,552	0,111	0,297	-	178,2	0,97	0,0004
	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 27,716	0,552	0,556	-	19,5	0,6	0,070
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 19,025	2,463	0,521	-	312,6	0,91	0,0034
Densidade de <i>Euphorbia</i> <i>heterophylla</i>	IPR Tuiuiú: Saflufenacil	³ 10,000	108,207	0,431	11,000	15,1	0,71	0,0905
	IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 19,022	0,441	0,169	-	101,4	0,87	0,0074
	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 28,694	0,633	0,536	-	18,8	0,70	0,0395
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 18,907	2,277	0,595	-	357,0	0,87	0,0070
	IPR Tuiuiú: Saflufenacil	³ -11,333	-70,593	0,425	22,333	14,9	0,85	0,0328
	IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 19,019	0,357	0,144	-	86,4	0,86	0,0082

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros; ²Equação sigmoidal sigmoide de três parâmetros; ³Equação sigmoidal logística de quatro parâmetros. a= assintota máxima da curva; b= declividade da curva; D₅₀= dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%; y₀= assintota mínima da curva. D₅₀ ia= dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

Os níveis de controle de *B. pilosa* aos 21 DAA aumentaram com a elevação das doses, sendo similar para ambos os herbicidas, principalmente nas maiores doses (**Figura 34A**). Na dose de 400 g ha⁻¹ sulfentrazone proporcionou nível de controle superior a 90% em ambas as cultivares, o qual só foi alcançado pelo saflufenacil nas doses de 35 e 52,2 g ha⁻¹ sobre a cultivar IPR Tuiuiú.

Tais níveis de controle se mantiveram aos 28 DAA, sendo superior a 90% na dose de 400 g ha⁻¹ para sulfentrazone, que apenas foi alcançado por saflufenacil nas doses de 35 e 52,2 g ha⁻¹ sobre IPR Tuiuiú e nesta última dose sobre a cultivar BRSMG Talismã (**Figura 34B**). Tal comportamento dos dados foi similar ao experimento de Pato Branco, contudo, observou-se que em doses

menores níveis de controle mais elevados dessa espécie foram obtidos no experimento de Verê.

A densidade de *B. pilosa* aos 21 DAA foi reduzida com a elevação das doses dos herbicidas, sendo menor para o saflufenacil a partir 10,4 g ha⁻¹, havendo densidade menor do que 5,5 plantas m⁻² a partir da dose de 0,67x para ambos os herbicidas (**Figura 35A**). Observou-se também que, na cultivar BRSMG Talismã, doses intermediárias dos herbicidas resultaram em menores densidades, enquanto na menor e nas duas maiores doses efetivas dos herbicidas as menores densidades estavam presentes na cultivar IPR Tuiuiú, aos 21 e 28 DAA, permanecendo inferior a 6 plantas m⁻² a partir da dose de 0,67x (**Figura 35B e E**).

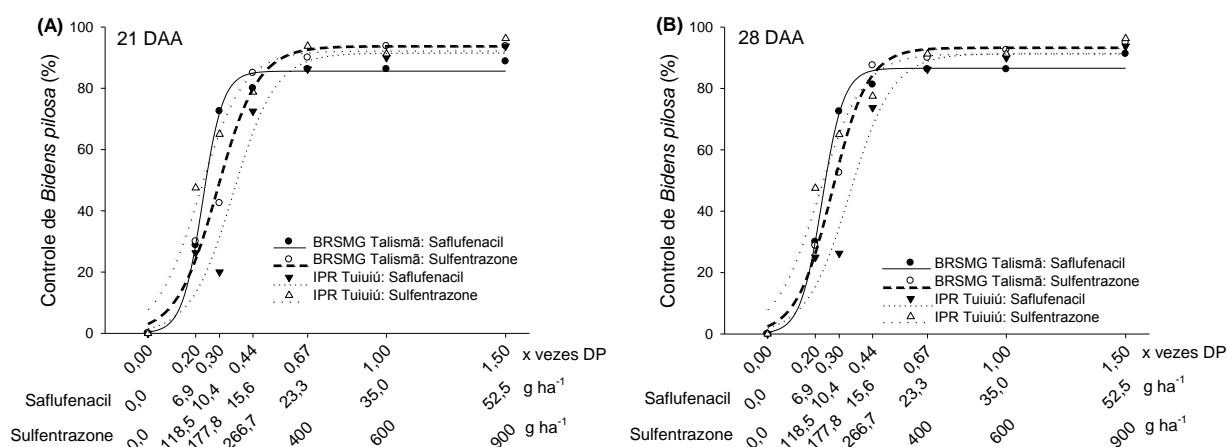


Figura 34 – Controle de *Bidens pilosa* (%) aos 21 (A) e 28 DAA (B), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.

Os valores de D₅₀ para controle de *B. pilosa* com o uso de saflufenacil foi de 8 g ha⁻¹ para a cultivar BRSMG Talismã aos 21 e 28 DAA e para IPR Tuiuiú foi de 12,4 e 11,9 g ha⁻¹ aos 21 e 28 DAA, respectivamente. Ou seja, doses baixas de saflufenacil são suficientes para gerar bom controle dessa espécie. Os valores de D₅₀ para ambas as cultivares aos 21 e 28 DAA foram muito baixos, inferiores a 175 g ha⁻¹ (**Tabela 25**).

Tabela 25 - Parâmetros da equação⁽²⁾, coeficiente de determinação (R²) e probabilidade (p) para as variáveis controle de *Bidens pilosa* (%) aos 21 e 28 DAA para a interação tripla.

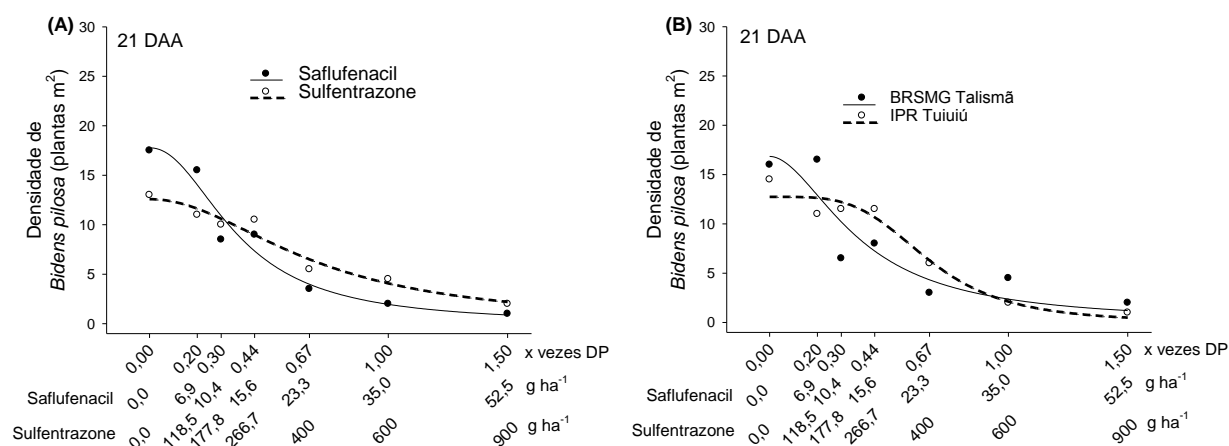
Variável	Tratamento	Parâmetros				R ²	p
		a	b	D ₅₀	D ₅₀ ia		
Controle de	21 DAA BRSMG Talismã:	85,588	0,042	0,228	8,0	0,99	<0,0001

<i>Bidens pilosa</i>		Saflufenacil						
	BRSMG Talismã:	² 93,697	0,085	0,291	174,6	0,98	0,0002	
	Sulfentrazone							
	IPR Tuiuiú: Saflufenacil	² 91,651	0,089	0,355	12,4	0,94	0,0016	
	IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	² 92,334	0,091	0,215	129,0	0,97	0,0005	
-----		-----						
	BRSMG Talismã:	² 86,578	0,045	0,228	8,0	0,99	<0,0001	
	Saflufenacil							
28 DAA	BRSMG Talismã:	² 93,244	0,075	0,271	162,6	0,99	<0,0001	
	Sulfentrazone							
	IPR Tuiuiú: Saflufenacil	² 91,512	0,091	0,341	11,9	0,96	0,0006	
	IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	² 91,431	0,091	0,213	127,8	0,96	0,0005	

²Equação sigmoide de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D₅₀= dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. D₅₀ ia= dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

Na média geral das doses aos 21 DAA, quando compara-se herbicidas dentro de cultivar, diferença significativa foi observada apenas para IPR Tuiuiú em que sulfentrazone exerceu melhor controle sobre a espécie e resultou em menor densidade. Quando se compara cultivares dentro de herbicidas, para o saflufenacil a menor densidade foi observada na cultivar BRSMG Talismã, enquanto que para o herbicida sulfentrazone a menor densidade foi constatada na cultivar IPR Tuiuiú (**Figura 35C**).

Aos 28 DAA na média geral das cultivares, saflufenacil reduziu mais a densidade de plantas (2 plantas m⁻²) em relação ao sulfentrazone (4 plantas m⁻²) (**Figura 35D**). As densidades dessa espécie foram reduzidas com a elevação das doses nos dois locais de condução do experimento.



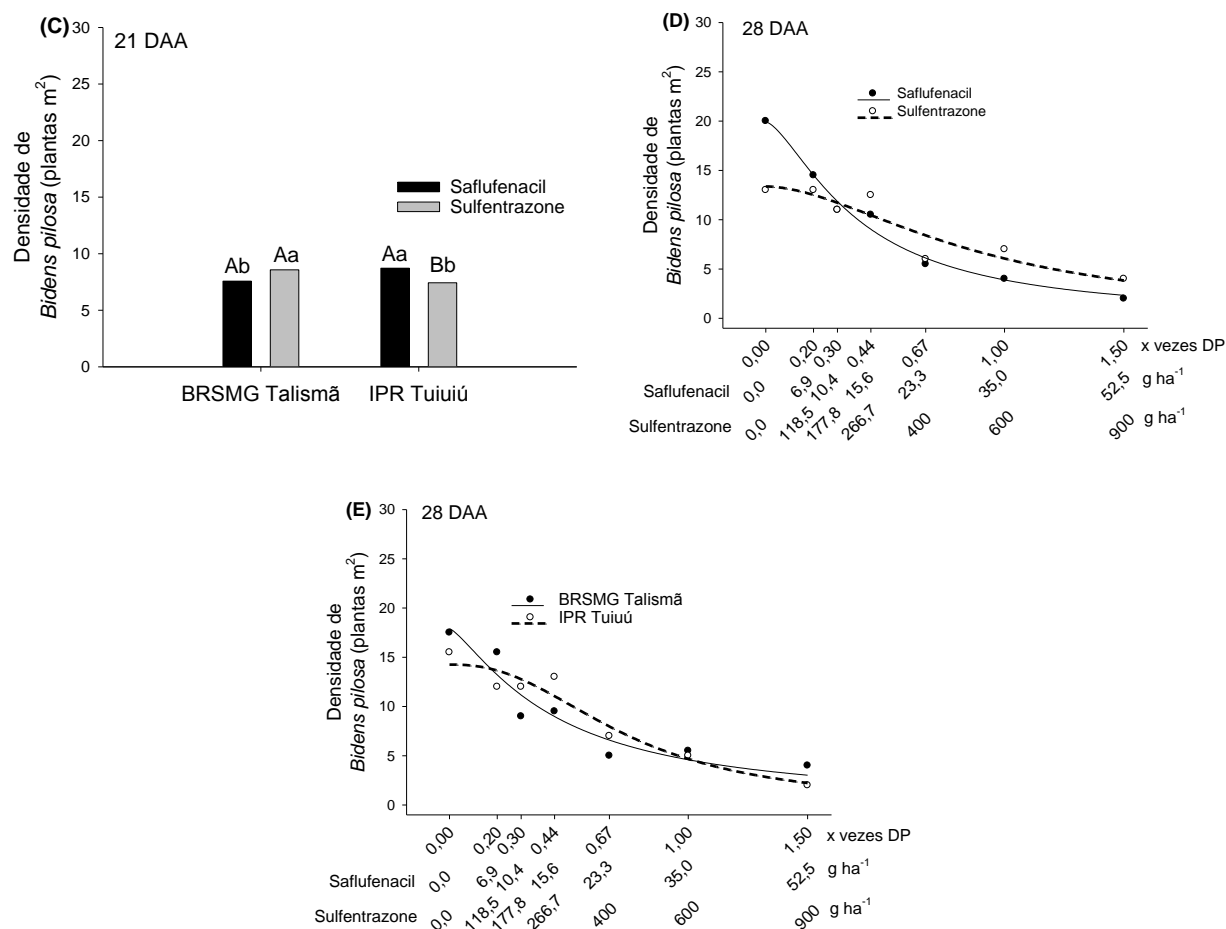


Figura 35 – Densidade de *Bidens pilosa* (plantas m⁻²) aos 21 DAA, considerando a interação entre herbicidas e doses (A), cultivares e doses (B) e entre cultivares e herbicidas (C); densidade aos 28 DAA, considerando a interação entre herbicidas e doses (D) e entre cultivares e doses (E). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula comparando herbicidas dentro de cultivar e minúsculas comparando cultivares dentro de herbicidas, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). DP: dose padrão.

Os valores de D_{50} para ensidade de *B. pilosa* com o uso de saflufenacil foi de 13,1 e 13,6 g ha⁻¹ e para sulfentrazone foi de 415,8 e 540,6 g ha⁻¹ aos 21 e 28 DAA, respectivamente. Assim, saflufenacil exerceu maior redução na densidade dessa espécie daninha quando comparada ao herbicida sulfentrazone (**Tabela 26**).

Tabela 26 - Parâmetros da equação⁽¹⁾, coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável densidade de *Bidens pilosa* (plantas m⁻²) aos 21 e 28 DAA.

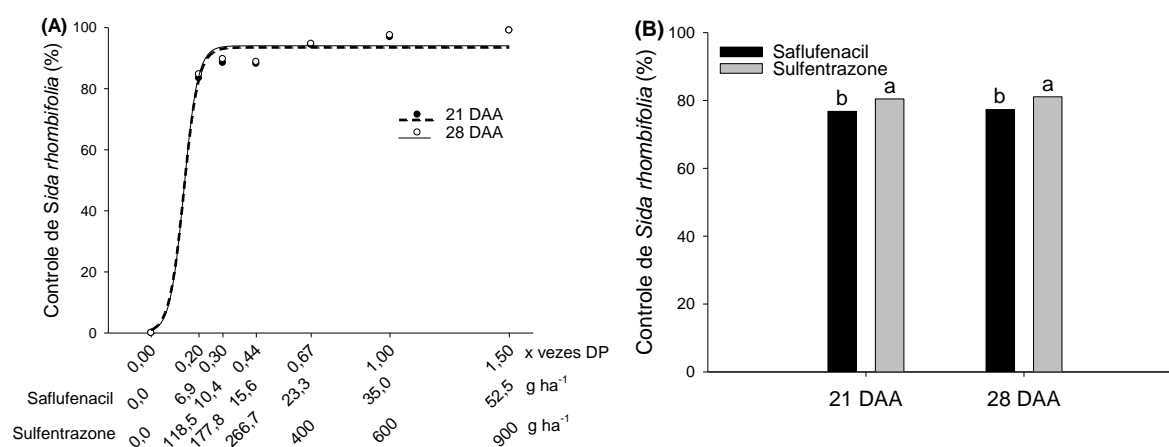
Variável	Tratamento	Parâmetros				R^2	p	
		a	b	D_{50}	$D_{50} \text{ Ia}$			
Densidade de <i>Bidens pilosa</i>	21 DAA	Saflufenacil	17,770	2,119	0,373	13,1	0,93	0,0019
		Sulfentrazone	12,582	2,006	0,693	415,8	0,93	0,0021
		BRSMG Talismã	16,844	1,859	0,378	-	0,75	0,0272
		IPR Tuiuiú	12,742	3,954	0,665	-	0,93	0,0020
	28 DAA	Saflufenacil	19,920	1,494	0,388	13,6	0,98	0,0002

Sulfentrazone	¹ 13,370	1,782	0,901	540,6	0,79	0,0194
BRSMG Talismã	¹ 17,900	1,303	0,442	-	0,87	0,0077
IPR Tuiuiú	¹ 14,258	2,381	0,740	-	0,90	0,0046

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D₅₀= dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. D₅₀ ia= dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

No experimento de Verê houve efeito simples de doses e herbicidas, tanto aos 21 quanto aos 28 DAA. Os níveis de controle dessa espécie foram superiores a 80% ainda em doses muito baixa dos herbicidas (**Figura 36A**). Observou-se que o controle proporcionado pelo herbicida sulfentrazone foi levemente superior ao saflufenacil aos 21 e 28 DAA (**Figura 36B**).

Sulfentrazone mostrou-se mais eficiente em reduzir a densidade quando comparado ao saflufenacil, no entanto, para ambos os herbicidas, a dose de 0,2x foi suficiente para reduzir a densidade abaixo de 3 plantas m⁻² aos 21 DAA e abaixo de 5 plantas m⁻² aos 28 DAA (**Figura 36C e D**). Assim, doses baixas dos herbicidas foram suficientes para reduzir drasticamente a densidade desta espécie. Ressalta-se que no experimento realizado em Pato Branco observou-se densidades maiores desta espécie (**Figura 20**).



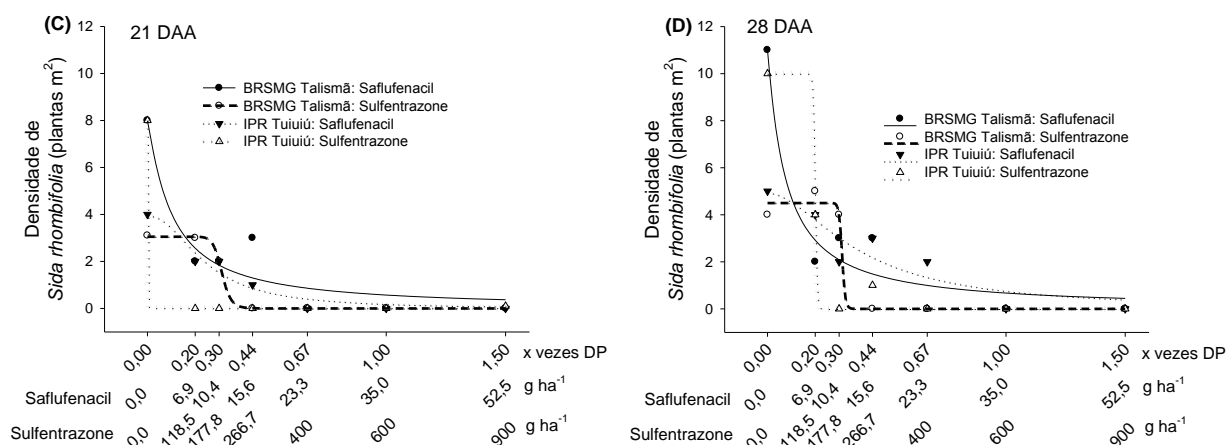


Figura 36 – Controle (%) de *Sida rhombifolia* aos 21 e 28 DAA para as doses (A) e herbicidas (B) e considerando a interação tripla para densidade aos 21 (C) e 28 DAA (D). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). DP: dose padrão.

Os valores de D_{50} para densidade de *S. rhombifolia* foi inferior a 13,5 g ha⁻¹ de saflufenacil e a 188 g ha⁻¹ de sulfentrazone para ambas as cultivares aos 21 e 28 DAA (**Tabela 27**). Isso demonstra a alta sensibilidade dessa espécie aos herbicidas saflufenacil e sulfentrazone.

Tabela 27 - Parâmetros das equações^(1,2), coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável controle (%) de *Sida rhombifolia* aos 21 e 28 DAA.

Variável	Tratamento	Parâmetros				R^2	p	
		a	b	D_{50}	$D_{50\text{ ia}}$			
Controle de <i>Sida rhombifolia</i>	21 DAA	Dose	² 93,523	0,030	0,136	-	0,98	0,0002
	28 DAA	Dose	² 94,051	0,029	0,136	-	0,98	0,0001
Densidade de <i>Sida rhombifolia</i>	21 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 7,981	1,128	0,103	3,6	0,86	0,008
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 3,051	16,620	0,311	186,6	0,99	<0,000
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 3,944	2,109	0,241	8,4	0,93	0,0019
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 7,996	0,106	9,3950E-027	0,0	0,97	<0,0001
	28 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 10,984	1,065	0,077	2,7	0,91	0,0038
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	¹ 4,500	48,848	0,313	187,8	0,98	0,0002
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	¹ 4,932	1,799	0,387	13,5	0,79	0,0187
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	¹ 10,000	50,308	0,198	118,8	0,98	0,0001

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros; ²Equação sigmoidal sigmoide de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. $D_{50\text{ ia}}$ = dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

O controle de *I. grandifolia* aos 21 e 28 DAA foi superior com sulfentrazone em todas as doses, ficando acima de 80% a partir de 266,7 g ha⁻¹, enquanto que este nível de controle só foi proporcionado por saflufenacil nas doses de 35 e 52,5 g ha⁻¹ sobre a cultivar IPR Tuiuiú e apenas nesta última dose sobre a cultivar BRSMG Talismã, aos 21 e 28 DAA (**Figura 37A e B**). Observa-se que em doses menores os níveis de controle são mais elevados do que quando comparado ao experimento conduzido em Pato Branco.

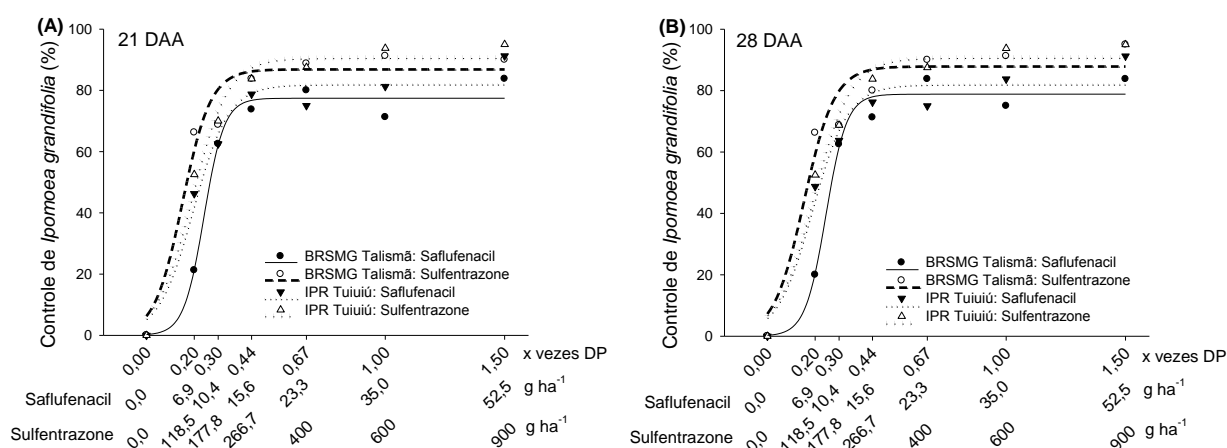


Figura 37 – Controle de *Ipomoea grandifolia* aos 21 (A) e 28 DAA (B), considerando a interação tripla. DP: dose padrão.

Os valores de D_{50} para controle de *I. grandifolia* foram inferiores a 8,6 g ha⁻¹ de saflufenacil e 116 g ha⁻¹ de sulfentrazone para ambas as cultivares aos 21 e 28 DAA (**Tabela 28**). Ou seja, essa espécie apresenta alta sensibilidade aos herbicidas saflufenacil e sulfentrazone.

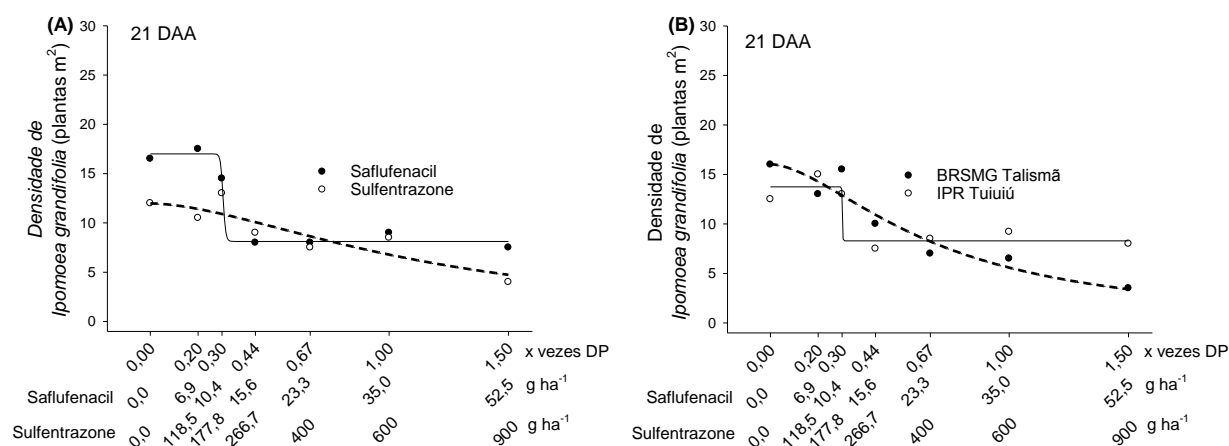
Tabela 28 - Parâmetros da equação⁽²⁾, coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis controle de *Ipomoea grandifolia* (%) aos 21 e 28 DAA.

Variável	Tratamento	Parâmetros				R^2	p	
		a	b	D_{50}	$D_{50}1a$			
Controle de <i>Ipomoea grandifolia</i>	21 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	² 77,434	0,042	0,240	8,4	0,98	0,0002
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone	² 86,839	0,059	0,151	90,6	0,94	0,0015	
	IPR Tuiuiú: Saflufenacil	² 81,932	0,073	0,194	6,8	0,95	0,0011	
	IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	² 90,589	0,074	0,074	44,4	0,97	0,0003	
	28 DAA	BRSMG Talismã: Saflufenacil	² 78,834	0,043	0,245	8,6	0,97	0,0003
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone	² 87,856	0,063	0,153	91,8	0,92	0,0027	
	IPR Tuiuiú: Saflufenacil	² 81,970	0,073	0,187	6,5	0,94	0,0014	
	IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	² 90,689	0,077	0,192	115,2	0,97	0,0004	

²Equação sigmoide de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D₅₀= dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. D₅₀ ia= dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

A interação tripla observada aos 21 e 28 DAA para densidade de plantas de *I. grandifolia* que ocorreu no experimento de Pato Branco, não foi observada no experimento do Verê. Aos 21 DAA, na média das cultivares, o sulfentrazone resultou em menores densidades dessa espécie em relação ao saflufenacil, que apresentou menor densidade apenas com 0,44x de ambos os herbicidas (**Figura 38A**). Na média dos herbicidas, a densidade desta espécie foi menor na BRSMG Talismã do que em IPR Tuiuiú nas doses a partir de 35 de saflufenacil e 600 g ha⁻¹ de sulfentrazone (**Figura 38B**).

Aos 28 DAA o aumento das doses proporcionou menor densidade de plantas desta espécie na média dos herbicidas para as cultivares, chegando a menos de 10 plantas m⁻² em ambas as cultivares (**Figura 38C**). Quando na média das cultivares e doses para os herbicidas, houve menor densidade após aplicação de saflufenacil, em comparação com a aplicação de sulfentrazone (**Figura 38D**).



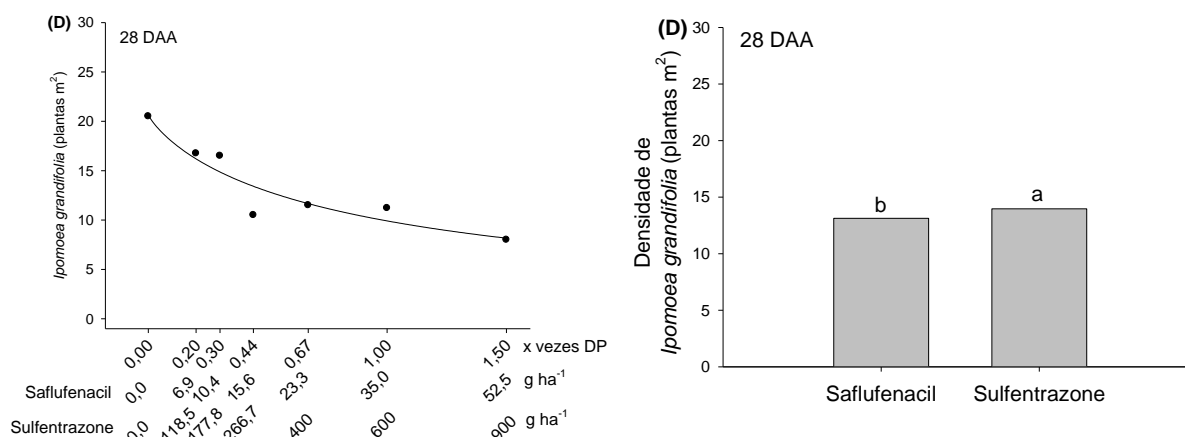


Figura 38 – Densidade de *Ipomoea grandifolia* (plantas m⁻²) aos 21 DAA, considerando a interação entre herbicidas e doses (A) e entre cultivares e doses (B), e aos 28 DAA, considerando interação entre cultivares e doses (C) e para herbicidas (D). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). DP: dose padrão.

O valor de D_{50} para ensidade de *I. grandifolia* foi de 10,6 g ha⁻¹ para saflufenacil e 70,2 g ha⁻¹ para sulfentrazone, indicando elevada sensibilidade da espécie a esses herbicidas (**Tabela 29**).

Tabela 29 - Parâmetros das equações^(1,3), coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis densidade de *Ipomoea grandifolia* aos 21 e 28 DAA.

Variável	Tratamento	Parâmetros					R^2	p		
		a	b	D_{50}	y_0	$D_{50\text{ ia}}$				
Densidade de <i>Ipomoea grandifolia</i>	21 DAA	Saflufenacil	² -8,875	-58,225	0,304	17,000	10,6	0,97	0,0029	
		Sulfentrazone	¹ 0,002	1,708	1,170	-	70,2	0,69	0,0421	
		BRSMG Talismã	¹ 16,032	1,690	0,691	-	-	0,87	0,0071	
		IPR Tuiuiú	³ 5,450	334,873	0,301	8,300	-	0,82	0,0457	
		28 DAA	BRSMG Talismã	¹ 23,818	0,991	0,738	-	-	0,67	0,0457
		IPR Tuiuiú	¹ 17,820	0,607	1,305	-	-	0,58	0,0787	

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros; ³Equação sigmoidal logística de quatro parâmetros; ⁴Equação sigmoidal sigmoide de quatro parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%; y_0 = assíntota mínima da curva. $D_{50\text{ ia}}$ = dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

Os níveis de controle de *A. retroflexus* aumentaram com a elevação das doses dos herbicidas e foram muito similares nas avaliações aos 21 e 28 DAA (**Figura 39A**). O herbicida sulfentrazone exerceu maior eficiência de controle desta espécie daninha do que saflufenacil, tanto na avaliação aos 21 quanto aos 28 DAA (**Figura 39B**), o que resultou em menor densidade de plantas, em ambos os períodos de avaliação (**Figura 39C**).

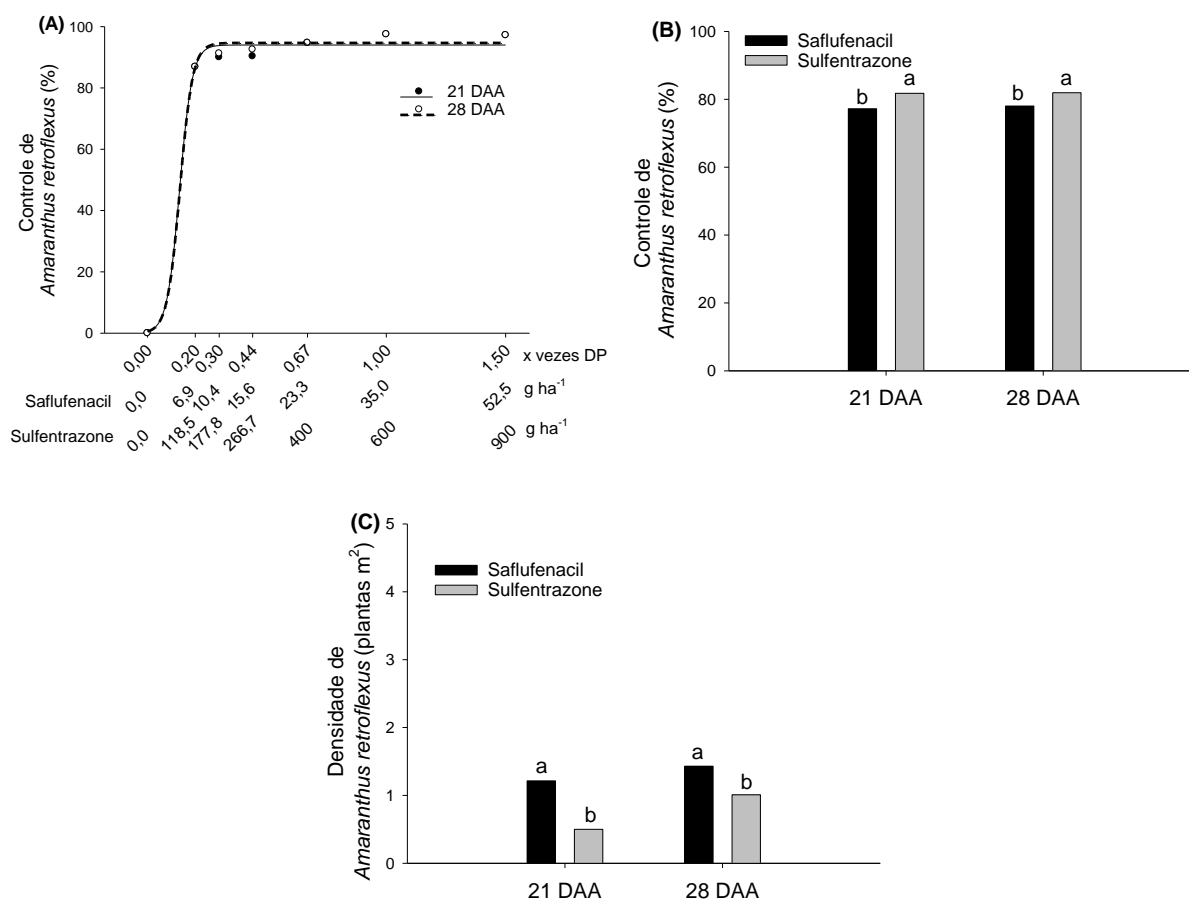


Figura 39 – Controle (%) de *Amaranthus retroflexus* aos 21 e 28 DAA, considerando doses (A) e herbicidas (B); e densidade aos 21 e 28 DAA, considerando herbicidas (C). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$) (Figuras B e C). DP: dose padrão.

Tabela 30 - Parâmetros das equações⁽²⁾, coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável controle (%) de *Amaranthus retroflexus* aos 21 e 28 DAA.

Variável	Tratamento	Parâmetros				R^2	p	
		a	b	D_{50}	$D_{50\text{ ia}}$			
Controle de <i>Amaranthus retroflexus</i>	21 DAA	Dose	² 94,003	0,026	0,134	-	0,99	<0,0001
	28 DAA	Dose	² 94,6924	0,026	0,136	-	0,99	<0,0001

²Equação sigmoide de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%. $D_{50\text{ ia}}$ = dose de ingrediente ativo (g ha⁻¹) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

É importante destacar que os maiores valores de MVPA e MSPA para praticamente todas as espécies daninhas foram atingidos com aplicação de saflufenacil sobre a cultivar de feijão IPR Tuiuiú. Esse efeito pode ter ocorrido pois, esta cultivar apresenta menor nível de tolerância ao herbicida saflufenacil do que BRSMG Talismã (Figura 29), o que compromete seu desenvolvimento, de forma

que as plantas da cultivar IPR Tuiuiú exerceram menor competitividade com as plantas daninhas, refletindo em sua maior biomassa verde e seca.

Da mesma forma que observado no experimento de Pato Branco, em Verê o herbicida sulfentrazone proporcionou controle visual mais eficiente do que saflufenacil em menores doses, que resultaram em níveis satisfatórios de controle das espécies daninhas *E. heterophylla*, *B. pilosa*, *S. rhombifolia*, *I. grandifolia* e *A. retroflexus* obtidas com 266,7, 400, 118,5, 266,7 e 118,5 g ha⁻¹, respectivamente. Assim, os níveis de controle variaram com a espécie, não sendo viável o uso apenas de sulfentrazone para um controle de amplo espectro, conforme também apontado por Walsh et al. (2015), em estudo realizado com sulfentrazone.

4.4.2.3 Rendimento e componentes

A variável NVP para SPD e CPD apresentou aumento conforme a elevação das doses. No experimento SPD na média de cultivares, o maior NVP foi observado na maior dose de ambos os herbicidas (**Figura 40A**). Na média dos herbicidas, maior NVP foi gerado pela cultivar IPR Tuiuiú, sendo de superior a 20 na maior dose, enquanto para BRSMG Talismã foi de inferior a 20 vagens (**Figura 40B**). Isso pode ser atribuído a alta mortalidade de plantas observada para BRSMG Talismã e principalmente para IPR Tuiuiú nas maiores doses de saflufenacil (**Figura 30**), que provocou redução da densidade de plantas de feijão, e resultou em maior desenvolvimento individual, gerando este aumento considerável no NVP.

Na média das doses, não houve diferença significativa entre os herbicidas para a cultivar BRSMG Talismã, enquanto que para a cultivar IPR Tuiuiú o NVP foi superior para saflufenacil em relação ao sulfentrazone, sendo explicado pela alta mortalidade de plantas com este herbicida, o que favoreceu o desenvolvimento de mais vagens por planta (**Figura 40C**). Quando se compara cultivares dentro de herbicidas o NVP foi superior para IPR Tuiuiú devido ao mesmo motivo, não havendo diferença significativa entre as cultivares para o herbicida sulfentrazone.

No experimento CPD, o aumento das doses dos herbicidas proporcionou elevação no NVP, sendo menor para a cultivar IPR Tuiuiú combinada com sulfentrazone em todas as doses efetivas do herbicida (**Figura 40D**).

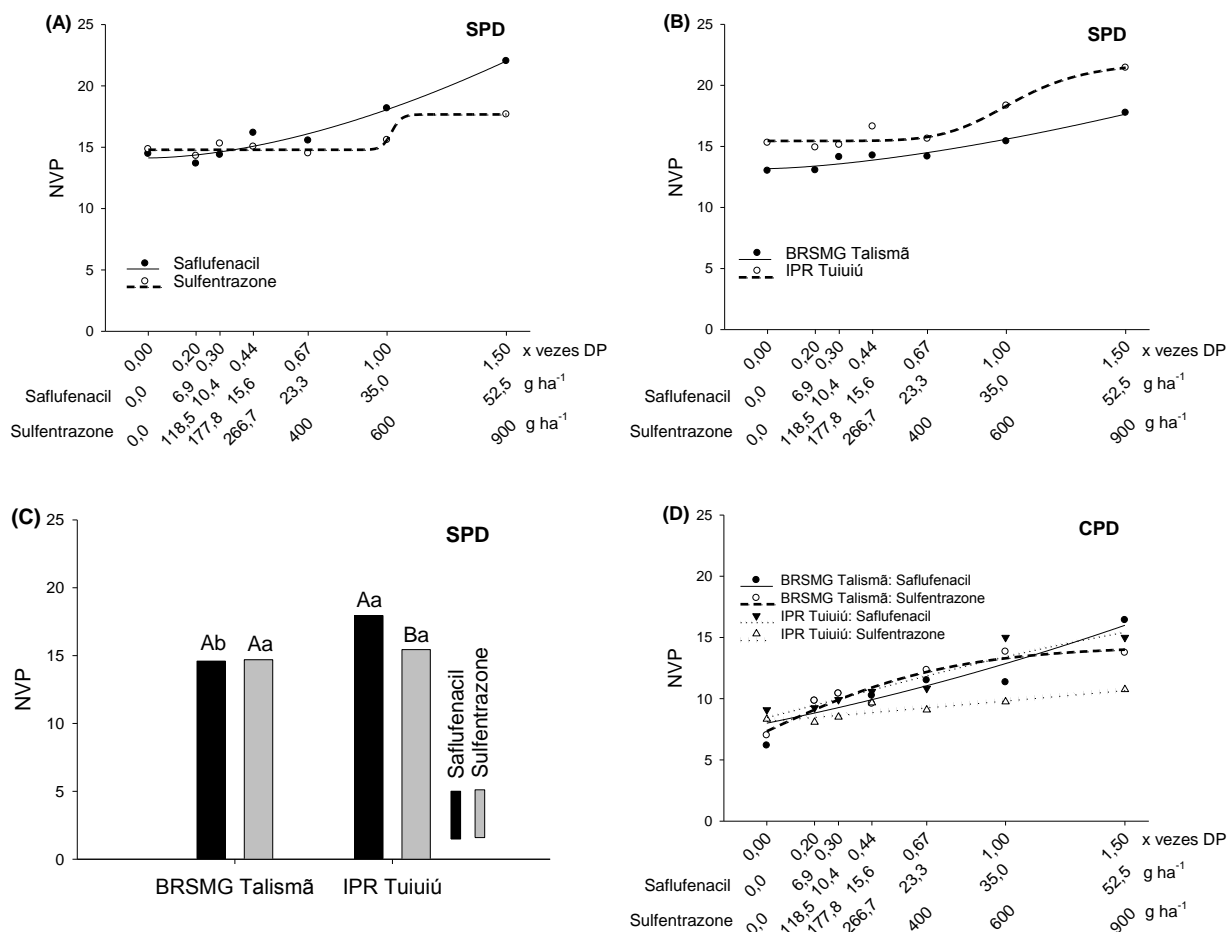


Figura 40 – Número de vagens por planta (NVP) considerando a interação entre herbicidas e doses (A), entre cultivares e doses (B) e entre cultivares e herbicidas (C) no experimento sem plantas daninhas (SPD) e considerando a interação tripla (D) no experimento com plantas daninhas (CPD). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula comparando herbicidas dentro de cultivar e minúsculas comparando cultivares dentro de herbicidas, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). DP: dose padrão.

Na média das cultivares para os herbicidas e doses no experimento SPD, o valor de D_{50} foi superior a $52,5 \text{ g ha}^{-1}$ de saflufenacil e $611,4 \text{ g ha}^{-1}$ de sulfentrazone. No experimento CPD, o D_{50} para saflufenacil foi superior a $52,5 \text{ g ha}^{-1}$ na BRSMG Talismã, mas de apenas $9,4 \text{ g ha}^{-1}$ na IPR Tuiuiú. Assim, dose muito baixa desse herbicida é suficiente para reduzir consideravelmente o NVP. Para o herbicida sulfentrazone foram requeridas doses superiores a 900 g ha^{-1} para atingir o

D_{50} , para ambas as cultivares, indicando alta tolerância a esse herbicida (**Tabela 31**).

Tabela 31 - Parâmetros das equações^(2,3), coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável número de vagens por planta (NVP) no experimento sem (SPD) e com plantas daninhas (CPD).

Variável	Tratamento	Parâmetros					R^2	p
		a	b	D_{50}	y_0	$D_{50\text{ ia}}$		
SPD	Saflufenacil	³ 463,101	-1,737	>1,5	14,128	>52,5	0,91	0,0148
	Sulfentrazone	³ 2,883	-50,163	1,019	14,792	611,4	0,83	0,0408
	BRSMG Talismã	³ 9126328,73	-1,519	-21312,06	13,181	-	0,91	0,0169
	IPR Tuiuiu	³ 0,016	-6,713	-1,035	15,448	-	0,89	0,0201
NVP	BRSMG Talismã:							
	Saflufenacil	² 58,867	1,736	>1,5	-	>52,5	0,77	0,0239
	BRSMG Talismã:							
	Sulfentrazone	² 14,304	0,394	-0,020	-	>900	0,88	0,0067
CPD	IPR Tuiuiu: Saflufenacil	² 19,733	0,957	0,2673	-	9,4	0,84	0,0115
	IPR Tuiuiu: Sulfentrazone	² 21,947	3,187	>1,5	-	>900	0,76	0,0255

²Equação sigmoide de três parâmetros; ³Equação sigmoide logística de quatro parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%; y_0 = assíntota mínima da curva. $D_{50\text{ ia}}$ = dose de ingrediente ativo (g ha^{-1}) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

O rendimento de grãos da cultivar IPR Tuiuiu no experimento SPD (somente efeito dos herbicidas) foi superior à BRSMG Talismã para ambos os herbicidas, com exceção da maior dose de saflufenacil (**Figura 41A**). O rendimento dessa cultivar quando combinada ao sulfentrazone na dose de 400 g ha^{-1} foi cerca de 2300 kg ha^{-1} e na maior dose houve redução para cerca de 1900 kg ha^{-1} , mas quando combinada com saflufenacil na dose de $23,3 \text{ g ha}^{-1}$ foi de 2313 kg ha^{-1} , havendo drástica redução na dose de $52,5 \text{ g ha}^{-1}$, cerca de 1200 kg ha^{-1} .

A drástica redução no rendimento de IPR Tuiuiu com a aplicação de saflufenacil pode ser atribuída a baixa tolerância da cultivar e alta mortalidade de plantas em altas doses, principalmente do herbicida saflufenacil (**Figura 29** e **Figura 30**). Mesmo com a elevação das doses de saflufenacil e sulfentrazone, a cultivar BRSMG Talismã mostrou comportamento estável para o rendimento, porém ele foi inferior à cultivar IPR Tuiuiu, sendo atribuída a maior tolerância desta cultivar a ambos os herbicidas.

Em se tratando do rendimento de grãos sob influência dos herbicidas e das plantas daninhas (experimento CPD), a elevação das doses dos herbicidas saflufenacil e sulfentrazone proporcionou aumento de rendimento da cultivar

BRSMG Talismã, alcançando cerca de 1084 e 1619 kg ha⁻¹, nas doses de 52,5 e 900 g ha⁻¹, respectivamente (**Figura 41B**).

Para cultivar IPR Tuiuiú a elevação das doses de sulfentrazone proporcionou elevação do rendimento de grãos (990 kg ha⁻¹ da testemunha) até a dose de 900 g ha⁻¹ (1678 kg ha⁻¹), mas quando combinada ao saflufenacil o incremento nas doses gerou drástica redução no rendimento, chegando a 333 kg ha⁻¹ na dose de 52,5 g ha⁻¹.

Os maiores rendimentos foram apresentados pela cultivar IPR Tuiuiú com o herbicida sulfentrazone em todas as doses (**Figura 41B**). Isto se deve à baixa fitotoxicidade do herbicida a cultivar e ao aumento no controle das plantas daninhas com o aumento das doses. Esta mesma cultivar também apresentou os menores rendimentos de grãos nas maiores doses de saflufenacil, podem ser atribuído aos efeitos negativos tanto de fitotoxicidade do herbicida principalmente na maior dose, quanto do efeito negativo das plantas daninhas. Diferentemente do experimento realizado em Pato Branco, em Verê nenhuma combinação de cultivar, herbicida e dose proporcionou rendimento de grãos superior à testemunha com capina, 1607,1 e 2270,2 kg ha⁻¹, respectivamente, para BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú.

Assim como ocorrido no experimento de Pato Branco, em Verê a colheita da cultivar BRSMG Talismã ocorreu em condições meteorológicas normais (no dia 08/05), sem excesso de chuvas, enquanto a colheita (no dia 22/05) da cultivar IPR Tuiuiú foi realizada após precipitação acumulada de 111 mm ocorrida nos cinco dias anteriores.

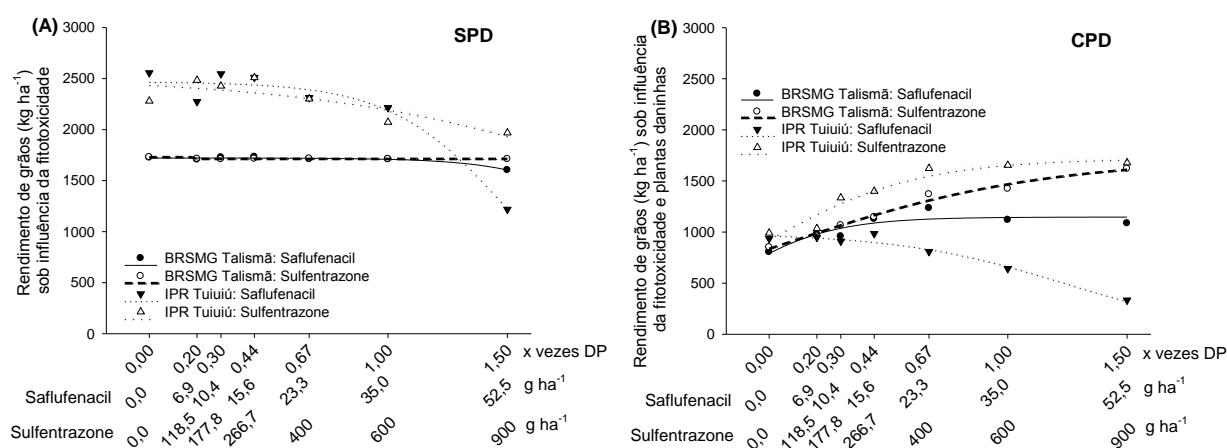


Figura 41 – Rendimento de grãos (kg ha^{-1}) sob influência da fitotoxicidade (A) no experimento sem plantas daninhas (SPD) e fitotoxicidade e plantas daninhas (B) no experimento com plantas daninhas (CPD), considerando a interação tripla. Rendimento de grãos da testemunha capinada no experimento sob influência da fitotoxicidade e das plantas daninhas para cultivar BRSMG Talismã foi de 1607,1 e 2270,2 kg ha^{-1} para IPR Tuiuiú. DP: dose padrão.

Os valores de D_{50} para saflufenacil foram superiores a $52,5 \text{ g ha}^{-1}$ na BRSMG Talismã nos dois experimentos. Já, para IPR Tuiuiú os valores de D_{50} foram de 52,3 e $43,4 \text{ g ha}^{-1}$ no experimento SPD e CPD, respectivamente. Isso indica que baixas doses de saflufenacil são suficientes para gerar grande redução no rendimento de grãos, principalmente quando na presença de plantas daninhas (**Tabela 32**).

Os valores de D_{50} para sulfentrazone foram subestimados para cultivar BRSMG Talismã, sendo de 112,8 e $43,4 \text{ g ha}^{-1}$, devido ao fato de que em nenhuma dose o herbicida foi capaz de reduzir o rendimento além de 50%. Já para IPR Tuiuiú, os D_{50} foram superiores a 900 g ha^{-1} . Assim, ambas as cultivares tiveram o rendimento de grãos muito menos afetado pelo herbicida sulfentrazone quando comparado ao herbicida saflufenacil, que ainda em baixas doses reduz consideravelmente essa variável na cultivar IPR Tuiuiú.

Tabela 32 - Parâmetros das equações^(2,4), coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável rendimento de grãos (kg ha^{-1}) sob influência da fitotoxicidade e fitotoxicidade e plantas daninhas.

Variável	Tratamento	Parâmetros					R^2	p	
		a	b	D_{50}	y_0	$D_{50 \text{ ia}}$			
Rendimento de grãos	Sob influência da fitotoxicidade	BRSMG Talismã: Saflufenacil	² 1721,493	-0,217	>1,5	-	>52,5	0,93	0,0019
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	⁴ -16,635	0,004	0,188	1729,311	112,8	0,83	0,0420
	plantas daninhas	IPR Tuiuiú: Saflufenacil	² 0,042	-0,242	1,493	-	52,3	0,93	0,0023
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	² 2527,473	-0,707	>1,5	-	>900	0,60	0,0725
	Sob influência da fitotoxicidade e plantas daninhas	BRSMG Talismã: Saflufenacil	² 1146,459	0,207	-0,165	-	>52,5	0,70	0,0405
		BRSMG Talismã: Sulfentrazone	² 1722,182	0,553	0,033	-	19,8	0,98	0,0002
		IPR Tuiuiú: Saflufenacil	² 993,639	-0,350	1,241	-	43,4	0,96	0,0008
		IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	² 1723,414	0,326	-0,048	-	>900	0,90	0,0044

²Equação sigmoide de três parâmetros; ⁴Equação sigmoide de quatro parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%; y_0 = assíntota mínima da curva. $D_{50 \text{ ia}}$ = dose de ingrediente ativo (g ha^{-1}) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

A perda de rendimento por fitotoxicidade e por plantas daninhas foi menor com o aumento das doses dos herbicidas, com exceção da cultivar IPR Tuiuiú, em que a partir da dose de 23,3 g ha⁻¹ houve incremento na perda de rendimento, alcançando 85% de perda na dose de 52,5 g ha⁻¹ (**Figura 42A**). Houve comportamento similar da perda de rendimento entre a cultivar IPR Tuiuiú com herbicida sulfentrazone e BRSMG Talismã com saflufenacil. As menores reduções na perda de rendimento foram obtidas na BRSMG Talismã com o herbicida saflufenacil, em que nas doses de 23,3, 35 e 52,5 g ha⁻¹ a perda foi inferior a 15%, não havendo perda de rendimento na maior dose.

A perda de rendimento proporcionada apenas pelas plantas daninhas foi reduzida com o aumento das doses dos herbicidas, devido ao aumento dos níveis de controle das plantas daninhas, reduzindo sua interferência negativa na cultura (**Figura 42B**). As menores perdas foram proporcionadas quando o herbicida sulfentrazone foi combinado na cultivar BRSMG Talismã, em que a partir da dose de 400 g ha⁻¹ ficou abaixo de 14% e na maior dose não houve perdas. Já, a cultivar IPR Tuiuiú quando combinada com sulfentrazone as perdas de rendimento nas doses de 400, 600 e 900 g ha⁻¹ foram de aproximadamente 30, 20 e 10%, respectivamente. Em se tratando de saflufenacil combinado com BRSMG Talismã as perdas foram superiores a 25% e para IPR Tuiuiú 33% (observado na maior dose). Diferentemente das demais situações, quando saflufenacil foi combinado com IPR Tuiuiú o aumento das doses não gerou grandes alterações nas perdas, sendo observada menor perda devido a influência das plantas daninhas na maior dose.

A perda de rendimento ocasionada pela fitotoxicidade dos herbicidas na cultivar BRSMG Talismã combinada com saflufenacil permaneceu inferior a 1%, com exceção da maior dose em que foi de 7%, mas quando combinada com sulfentrazone as perdas em todas as doses foram inferiores a 1% (**Figura 42C**). As perdas de rendimento para a cultivar IPR Tuiuiú combinada com sulfentrazone até 400 g ha⁻¹ foram sempre negativas (ausência de perdas), enquanto nas doses de 600 e 900 g ha⁻¹ foram de foram inferiores a 15%. Em se tratando de IPR Tuiuiú combinada com saflufenacil a perda de rendimento devido a fitotoxicidade na dose de 6,9 g ha⁻¹ foi de 11% e a partir da dose de 10,4 g ha⁻¹, houve aumento nos valores até próximo a 50% na dose de 52,5 g ha⁻¹. Estes resultados estão de acordo

com as avaliações visuais de fitotoxicidade, em que a TR de IPR Tuiuiú foi extremamente baixa na maior dose de saflufenacil, comprometendo o rendimento da cultivar (**Figura 29**).

Estes resultados mostram que a perda de rendimento das cultivares é mais afetada pelo efeito negativo das plantas daninhas do que pela fitotoxicidade dos herbicidas à cultura, com exceção para a cultivar IPR Tuiuiú em que na dose de $52,5 \text{ g ha}^{-1}$ a perda foi mais influenciada pela elevada fitotoxicidade do herbicida (**Figura 29**) do que pelo efeito negativo das plantas daninhas em função de sua densidade (**Figura 30**). Os resultados para a perda de rendimento de grãos de forma isolada para fitotoxicidade, plantas daninhas ou em conjunto corroboram com os observados nos experimentos conduzidos no município de Pato Branco.

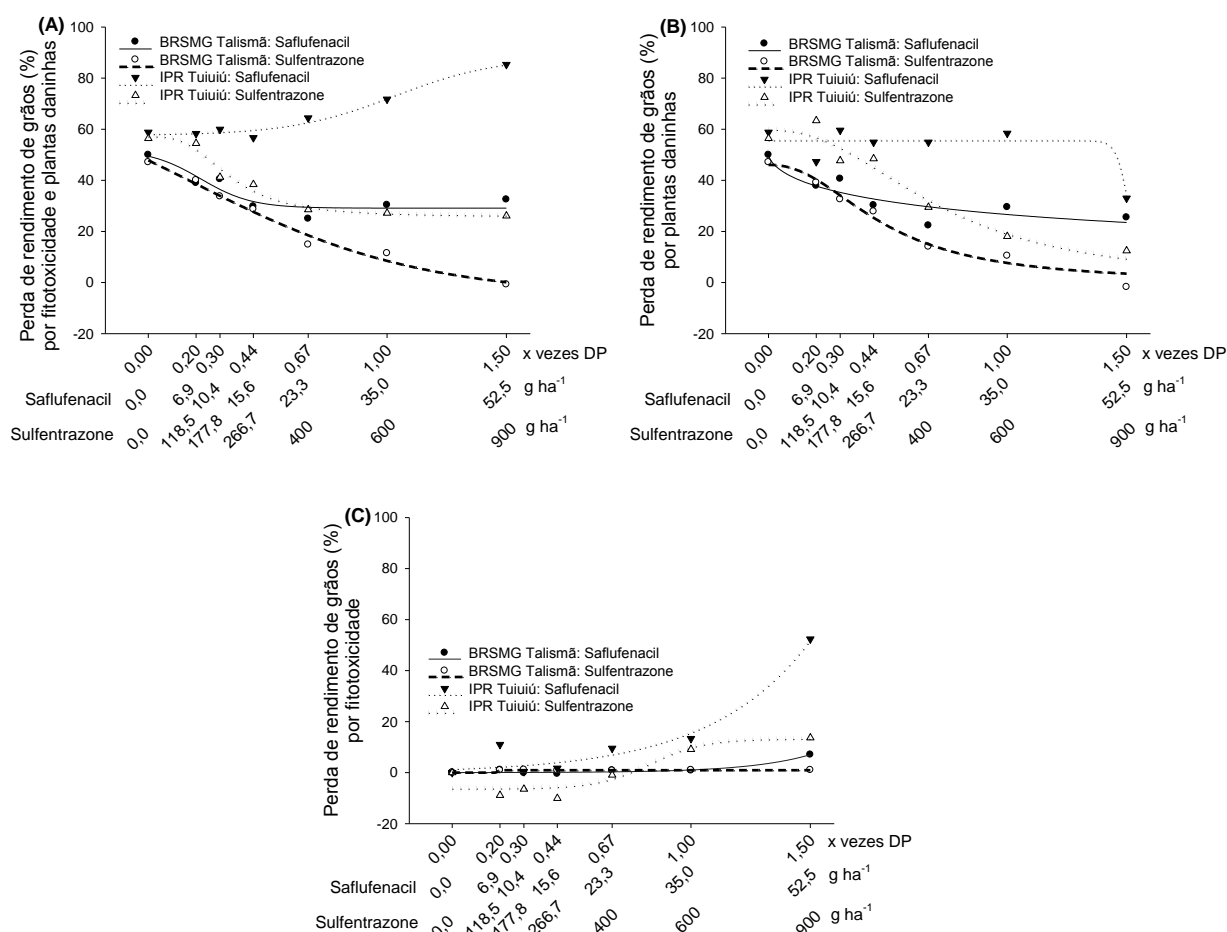


Figura 42 – Perda de rendimento de grãos (kg ha^{-1}) por fitotoxicidade e plantas daninhas (A), plantas daninhas (B) e fitotoxicidade (C) considerando a interação tripla. DP: dose padrão.

Os valores de D_{50} para a perda de rendimento de grãos por fitotoxicidade e plantas daninhas foram variáveis. O D_{50} para saflufenacil foi de 7,7 e 36,0 g ha⁻¹ e para sulfentrazone foi de 105,0 e 204,6 g ha⁻¹ para BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú, respectivamente (**Tabela 33**). Neste caso, baixas doses foram necessárias para gerar alta perda de rendimento de grãos.

Para a perda de rendimento devido apenas a influência das plantas daninhas o de D_{50} para saflufenacil foi maior que 42,4 g ha⁻¹ para BRSMG Talismã e 52,8 g ha⁻¹ para IPR Tuiuiú, enquanto que para sulfentrazone foi de 289,2 g ha⁻¹ para BRSMG Talismã e 429,0 g ha⁻¹ para IPR Tuiuiú. Já, para a perda de rendimento devido a fitotoxicidade, o valor de D_{50} para saflufenacil foi maior que 52,5 g ha⁻¹ para ambas as cultivares e para sulfentrazone foi de 114,6 g ha⁻¹ para BRSMG Talismã e 497,4 g ha⁻¹ para IPR Tuiuiú.

Tabela 33 - Parâmetros da equação^(1,2,3,4), coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável perda de rendimento de grãos (kg ha⁻¹) por fitotoxicidade e plantas daninhas, plantas daninhas e fitotoxicidade.

Variável	Tratamento	Parâmetros					R^2	p
		a	b	D_{50}	y_0	$D_{50\text{ia}}$		
Fitotoxicidade e plantas daninhas	BRSMG Talismã: Saflufenacil	⁴ 22,937	-0,107	0,219	29,116	7,7	0,72	0,0866
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone	⁴ 90,006	-0,482	0,175	-5,300	105,0	0,97	0,003
	IPR Tuiuiú: Saflufenacil	⁴ -30,653	-0,217	1,028	88,434	36,0	0,96	0,0055
	IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	³ -31,317	-3,017	0,341	57,162	204,6	0,95	0,0072
	<hr/>							
	Perda de rendimento de grãos	BRSMG Talismã: Saflufenacil	¹ 50,282	0,612	1,212	-	42,4	0,73
BRSMG Talismã: Sulfentrazone		¹ 46,041	2,212	0,482	-	289,2	0,96	0,0007
IPR Tuiuiú: Saflufenacil		¹ 55,641	58,641	1,509	-	52,8	0,71	0,0364
IPR Tuiuiú: Sulfentrazone		¹ 59,782	2,284	0,715	-	429,0	0,93	0,0023
<hr/>								
Fitotoxicidade		BRSMG Talismã: Saflufenacil	² 440243704,97	0,263	>1,5	-	>52,5	0,93
	BRSMG Talismã: Sulfentrazone	² 0,961	0,003	0,191	-	114,6	0,87	0,0075
	IPR Tuiuiú: Saflufenacil	² 3130998692,66	0,416	>1,5	-	>52,5	0,92	0,0025
	IPR Tuiuiú: Sulfentrazone	⁴ 19,565	0,111	0,829	-6,273	497,4	0,72	0,0856

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros; ²Equação sigmoidal sigmoide de três parâmetros; ³Equação sigmoidal logística de quatro parâmetros; ⁴Equação sigmoidal sigmoide de quatro parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para

reduzir a variável dependente em 50%; y_0 = assíntota mínima da curva. D_{50} ia= dose de ingrediente ativo (g ha^{-1}) necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

A correlação entre a perda de rendimento devido a fitotoxicidade e as plantas daninhas com as perdas geradas apenas pelas plantas daninhas foi alta (0,82) e quando correlacionada com as perdas geradas apenas pela fitotoxicidade a correlação foi baixa (0,45) (**Figura 43C**). Dessa forma, é possível inferir que as plantas daninhas afetam mais o rendimento de grãos do que a fitotoxicidade dos herbicidas.

Ressalta-se que os coeficientes de correlação foram iguais entre os dois locais de condução do experimento, demonstrando a grande influência das plantas daninhas na perda total de rendimento das cultivares BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú. De modo geral, o herbicida sulfentrazone proporcionou menor impacto negativo sobre a tolerância relativa de ambas as cultivares, maior nível de controle geral e individual das plantas daninhas, maior redução na densidade das plantas daninhas e menor perda por fitotoxicidade e por plantas daninhas. Nível satisfatório de controle visual de plantas daninhas foi observado a partir da dose de 400 g ha^{-1} de sulfentrazone, a qual foi seletiva para as cultivares BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú. Contudo, apenas a cultivar BRSMG Talismã na maior dose do herbicida sulfentrazone (900 g ha^{-1}) conseguiu proporcionar a maior redução na densidade geral de plantas daninhas m^{-2} até próximo a zero, influenciando para não haver perda de rendimento, mas diferentemente do experimento de Pato Branco, não conseguiu superar a produtividade da testemunha com capina.

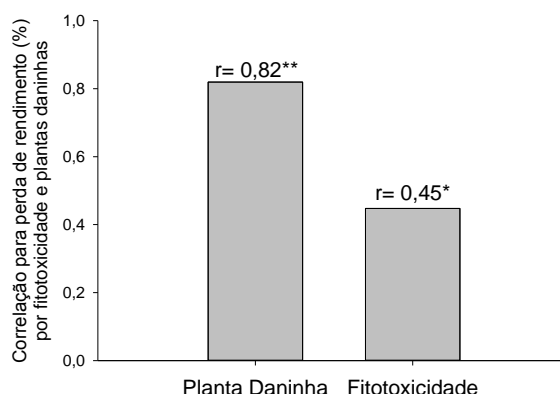


Figura 43 – Correlação linear de Pearson entre a perda de rendimento por fitotoxicidade e plantas daninhas com a perda de rendimento sob influência apenas das plantas daninhas ou apenas da fitotoxicidade. r = coeficiente de correlação. * e ** significativo a 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente.

Diante dos resultados obtidos nos dois locais de condução dos experimentos, o herbicida sulfentrazone na dose de 400 g ha^{-1} mostrou-se uma potencial alternativa ao manejo químico nesta cultura em pré-emergência, proporcionando controle antes da emergência das daninhas, reduzindo o número de plantas daninhas. A redução da população de plantas daninhas nas áreas traz amplos benefícios aos agricultores. Ações de controle em pós-emergência, deverão complementar a utilização de herbicidas pré-emergentes, como o sulfentrazone. Dentre as alternativas químicas que poderão ser utilizadas em pós-emergência para complementar a ação em pré-emergência estão os herbicidas fomesafen, bentazon, imazamox.

4.5 AVALIAÇÃO DA DETOXIFICAÇÃO DOS HERBICIDAS SAFLUFENACIL E SULFENTRAZONE COM USO DE INIBIDORES E PROTETORES DE METABOLIZAÇÃO

Inicialmente foram realizados dois experimentos visando à seleção da molécula inibidora e protetora e do herbicida a ser empregado no ensaio definitivo em curva de resposta a dose, utilizando a cultivar de feijão BRSMG Talismã (Tolerante) e IAC Milênio (Sensível).

4.5.1 Ensaio Preliminar da Metabolização

4.5.1.1 Ensaio com inibidores da metabolização

Na tolerância relativa (TR) aos 14 dias após aplicação (DAA) de saflufenacil ($20,5 \text{ g ha}^{-1}$) em pré-emergência para a comparação de inibidores, não foi constatada diferença estatística entre a testemunha contendo apenas saflufenacil (93,3%) e a associação de 1125 g ha^{-1} de clorpirifós e 1000 g ha^{-1} de malathion (91,7%) aplicados em pós-emergência no estágio V_2 de desenvolvimento do feijão, enquanto clorpirifós isolado (1125 g ha^{-1}) aplicado diretamente no sulco de semeadura afetou drasticamente esta variável, reduzindo a TR da cultivar BRSMG Talismã (tolerante) para apenas 43,3% (**Figura 44A**). Para o herbicida sulfentrazone (800 g ha^{-1}) aplicado em pré-emergência, a TR de BRSMG Talismã quando na aplicação da associação de clorpirifós e malathion (86,7%), foi inferior estatisticamente em relação à testemunha contendo apenas sulfentrazone (96,7%), sendo a maior diferença observada na aplicação de clorpirifós isolado (20%). O inibidor clorpirifós isolado aplicado diretamente no sulco de semeadura não demonstrou fitotoxicidade sobre a cultivar BRSMG Talismã, enquanto a associação de clorpirifós e malathion aplicados em pós-emergência foram fitotóxicos, resultando em TR de 80%.

O herbicida sulfentrazone (20%) foi mais efetivo em reduzir a TR de BRSMG Talismã quando comparado ao saflufenacil (43,3%), na comparação de herbicidas dentro de inibidores, considerando o inibidor clorpirifós isolado (**Figura 44A**). Já, na associação de clorpirifós e malathion não houve diferença estatística entre saflufenacil e sulfentrazone, mas sua aplicação na ausência dos herbicidas resultou em menor TR de BRSMG Talismã (80%). Alta tolerância foi observada ao herbicida saflufenacil (93,3%) e sulfentrazone (96,7%), não diferindo da testemunha para esta associação na ausência dos herbicidas. Assim, a alta TR da cultivar BRSMG Talismã aos herbicidas saflufenacil e sulfentrazone foi reduzida drasticamente quando combinados com inibidor da metabolização clorpirifós isolado.

Diante disso, houve expressiva redução da TR quando inibidor clorpirifós esteve em conjunto com ambos os herbicidas e redução menos

pronunciada quando clorpirifós associado ao malathion esteve em conjunto com o herbicida sulfentrazone. Sabe-se que inseticidas pertencentes ao grupo dos organofosforados, como é o caso de clorpirifós e malathion, apresentam a capacidade de inibir a atividade de enzimas metabolizadores de moléculas herbicidas em plantas, como as enzimas GSTs e P_{450} (LEAH et al., 1995; TREZZI; NUNES; PORTES, 2009; BUSI; GAINES; POWLES, 2017; TORRES; ORTIZ, 2017). Dessa forma, sugere-se que o processo de metabolização das moléculas de herbicidas inibidores da Protox faz parte do mecanismo de tolerância do feijão a esse mecanismo de ação herbicida.

Na TR aos 28 DAA de saflufenacil ($20,5 \text{ g ha}^{-1}$) para a comparação de inibidores, não foi constatada diferença estatística entre a testemunha contendo apenas saflufenacil (93,3%) e a associação de clorpirifós e malathion (90%), enquanto clorpirifós isolado afetou drasticamente a TR da cultivar BRSMG Talismã (26,7%), da mesma forma que aos 14 DAA (**Figura 44B**). Para o herbicida sulfentrazone (800 g ha^{-1}), a TR de BRSMG Talismã quando na aplicação da associação de clorpirifós e malathion (78,3%) foi inferior estatisticamente a testemunha contendo apenas sulfentrazone (91,7%), sendo drasticamente reduzida quando aplicado clorpirifós isolado (23,3%), da mesma forma que observado aos 14 DAA. A aplicação do inibidor clorpirifós isolado não resultou em efeito negativo sobre a TR da cultivar BRSMG Talismã, enquanto a associação de clorpirifós e malathion apresentaram fitotoxicidade, resultando em TR de 75%.

Na comparação de herbicidas dentro de inibidores, considerando o inibidor clorpirifós isolado, houve drástica redução na TR de BRSMG Talismã para os herbicidas saflufenacil (26,7%) e sulfentrazone (23,3%) não diferindo entre si (**Figura 44B**). Na associação de clorpirifós e malathion o herbicida saflufenacil resultou na maior TR (90%), enquanto sulfentrazone (78,3%) e a aplicação dessa associação na ausência dos herbicidas (75%) não foram diferentes estatisticamente, indicando que esta associação nas condições de aplicação prejudica consideravelmente o desenvolvimento do feijão. Alta tolerância foi observada ao herbicida saflufenacil (93,3%) e sulfentrazone (91,7%), não diferindo da testemunha sem aplicação de herbicida.

Assim, verificou-se drástica redução da TR quando inibidor o clorpirifós esteve em conjunto com ambos os herbicidas e redução menos expressiva quando clorpirifós associado ao malathion esteve em conjunto com o herbicida sulfentrazone, corroborando com o observado para esta variável aos 14 DAA dos herbicidas.

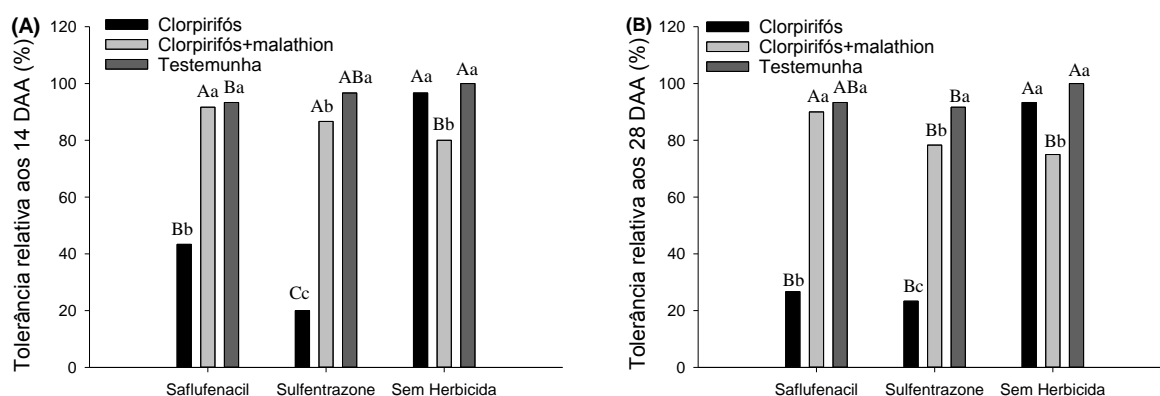


Figura 44 – Tolerância relativa da cultivar BRSMG Talismã (Tolerante) aos 14 (A) e 28 (B) DAA dos herbicidas saflufenacil ($20,5 \text{ g ha}^{-1}$) e sulfentrazone (800 g ha^{-1}). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando herbicidas dentro de cada inibidor e minúsculas, comparando inibidores dentro de cada herbicida, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). O inibidor clorpirifós (1125 g ha^{-1}) foi aplicado no sulco de semeadura e a associação dos inibidores clorpirifós (1125 g ha^{-1}) e malathion (1000 g ha^{-1}) foi aplicada em pós-emergência no estágio V_2 .

Na altura de planta aos 14 DAA de saflufenacil ($20,5 \text{ g ha}^{-1}$) para a comparação de inibidores, não houve diferença estatística entre a testemunha contendo apenas saflufenacil (95,2%) e a associação de clorpirifós e malathion (101,6%), enquanto clorpirifós isolado resultou em altura de planta de 64,4% em relação à testemunha sem herbicida e sem inibidor (**Figura 45A**). Já, para o herbicida sulfentrazone (800 g ha^{-1}), a altura da cultivar BRSMG Talismã quando na aplicação da associação de clorpirifós e malathion (85,7%) não diferiu da testemunha contendo apenas sulfentrazone (95,2%), sendo drasticamente reduzida quando aplicado clorpirifós isolado (46,3%). A aplicação de clorpirifós isolado na ausência do herbicida resultou em altura de planta (84,13%) que não diferiu da destemunha sem herbicida e sem inibidor (100%), enquanto a associação de clorpirifós e malathion apresentaram alta fitotoxicidade, resultando em altura de planta de 66,7%.

Na comparação de herbicidas dentro de inibidores, considerando o inibidor clorpirifós isolado, a presença dos herbicidas saflufenacil e sulfentrazone

resultaram na redução da altura de planta não diferindo entre si, sendo de 64,4 e 46,3%, respectivamente (**Figura 45A**). Na associação de clorpirifós e malathion o herbicida saflufenacil resultou na maior altura de planta (101,6%), que não diferiu de sulfentrazone (85,6%), sendo que este último herbicida também não diferiu da aplicação da associação de clorpirifós e malathion na ausência dos herbicidas (66,7%), indicando que tal associação de inibidores e condições de aplicação prejudica consideravelmente o desenvolvimento da cultura. A altura de planta constatada para o herbicida saflufenacil (95,2%) e sulfentrazone (95,2%), não diferindo da testemunha sem aplicação de herbicida.

Na altura de planta aos 28 DAA de saflufenacil ($20,5 \text{ g ha}^{-1}$) para a comparação de inibidores, o clorpirifós isolado resultou em baixa altura de planta (41,1%), comparativamente a testemunha contendo apenas saflufenacil (76,7%) e a associação de clorpirifós e malathion (82,2%), que não diferiram entre si, da mesma forma como observado aos 14 DAA (**Figura 45B**). Comportamento similar ocorreu para o herbicida sulfentrazone, em que clorpirifós isolado resultou em maior redução na altura de planta (38,9%), não havendo diferença entre os demais tratamentos. A aplicação de clorpirifós isolado ou em associação com malathion na ausência dos herbicidas geraram redução na altura de plantas, que foi de 84,5 e 70%, respectivamente.

Na comparação de herbicidas dentro de inibidores, considerando o inibidor clorpirifós isolado, houve redução na altura de planta quando na presença do herbicida saflufenacil (41,1%) e sulfentrazone (38,9%) (**Figura 45B**). Já, para a associação de clorpirifós e malathion, não foi constatada diferença estatística entre os tratamentos com herbicidas, diferentemente do observado aos 14 DAA. A altura de planta quando aplicado apenas o herbicida saflufenacil (76,6%) e sulfentrazone (82,3%) não diferiu entre os herbicidas, mas foi inferior aos tratamentos sem herbicida e sem inibidor.

Tais resultados observados para a altura de planta da cultivar BRSMG Talismã aos 14 e 21 DAA, corroboram com os observados para a TR desta cultivar nos dois períodos de avaliação (14 e 21 DAA).

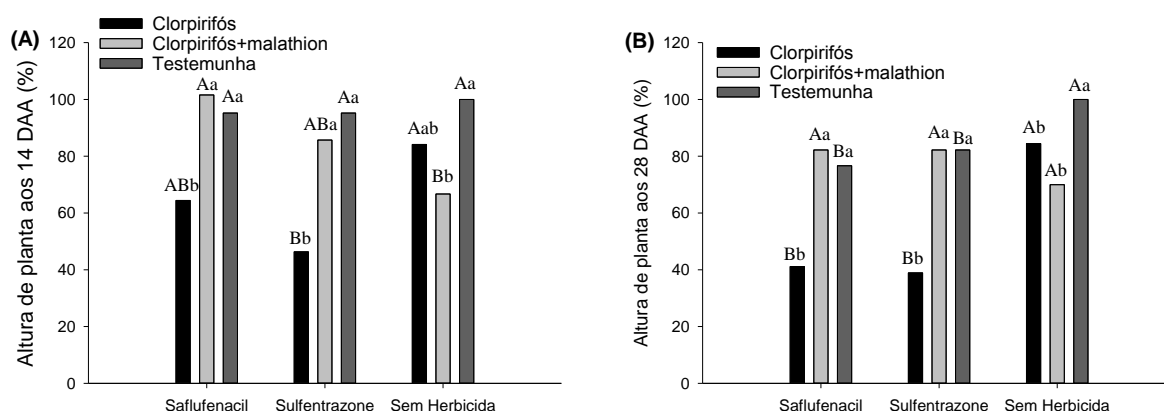


Figura 45 - Altura de planta da cultivar de feijão BRSMG Talismã (Tolerante) aos 14 (A) e 28 (B) DAA dos herbicidas saflufenacil ($20,5 \text{ g ha}^{-1}$) e sulfentrazone (800 g ha^{-1}). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando herbicidas dentro de cada inibidor e minúsculas, comparando inibidores dentro de cada herbicida, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). O inibidor clorpirifós (1125 g ha^{-1}) foi aplicado no sulco de semeadura e a associação dos inibidores clorpirifós (1125 g ha^{-1}) e malathion (1000 g ha^{-1}) foi aplicada em pós-emergência no estágio V_2 .

Na matéria verde da parte aérea (MVPA) aos 28 DAA de saflufenacil ($20,5 \text{ g ha}^{-1}$) para a comparação de inibidores, não houve diferença estatística entre a testemunha contendo apenas saflufenacil (90,5%) e a associação de clorpirifós e malathion (94,4%), sendo que apenas clorpirifós isolado resultou em MVPA de planta de muito baixa (27,3%) em relação à testemunha sem herbicida e sem inibidor (**Figura 46B**). Da mesma foi observado para o herbicida sulfentrazone (800 g ha^{-1}), em que a MVPA cultivar BRSMG Talismã quando na aplicação da associação de clorpirifós e malathion (86%) não diferiu da testemunha contendo apenas sulfentrazone (90,4%), sofrendo drástica redução quando com clorpirifós isolado (30,6%). Na ausência dos herbicidas não foi observada diferença estatística entre os tratamentos, mesmo para clorpirifós isolado que apresentou MVPA de 84,4%, em relação à testemunha.

Na comparação de herbicidas dentro de inibidores, considerando o inibidor clorpirifós isolado, não houve diferença estatística entre saflufenacil (27,3%) e sulfentrazone (30,6%), mas sua MVPA foi reduzida consideravelmente (**Figura 45A**). Na associação de clorpirifós e malathion o uso de saflufenacil ou sulfentrazone não alterou significativamente a MVPA. Além disso, a MVPA observada para o herbicida saflufenacil (90,5%) e sulfentrazone (90,4%), não diferiu da testemunha sem aplicação de herbicida e sem inibidor.

Na matéria seca da parte aérea (MSPA) aos 28 DAA de saflufenacil ($20,5 \text{ g ha}^{-1}$), sulfentrazone (800 g ha^{-1}) ou dos inibidores na ausência nos herbicidas o comportamento foi semelhante ao ocorrida para a MVPA, tanto na comparação de herbicidas dentro de inibidores quanto de inibidores dentro de herbicidas, havendo única diferença para este último, em que na ausência dos herbicidas o clorpirifós isolado apresentou MSPA de 81,9%, indicando que exerceu efeito negativo sobre esta variável para a cultivar BRSMG Talismã.

Diferentemente do observado para a TR e altura de planta aos 14 e 21 DAA, não foi observada redução da MVPA e MSPA quando clorpirifós associado ao malathion esteve presente com o herbicida sulfentrazone. De forma similar para todas as variáveis avaliadas e períodos de avaliação o inibidor clorpirifós aplicado no sulco de semeadura foi mais eficiente em reduzir os valores das variáveis, o que pode ser atribuído ao fato deste atuar na semente antes mesmo da ação herbicida ocorrer e muito antes da ação de clorpirifós associado ao malathion, aplicado 10 dias depois da semeadura, em estágio V_2 . Além disso, a atuação antecipada de clorpirifós em relação aos herbicidas saflufenacil e sulfentrazone, pode favorecer inibição antecipada das enzimas metabolizadoras de tal forma que potencialize a ação do herbicida na plântula.

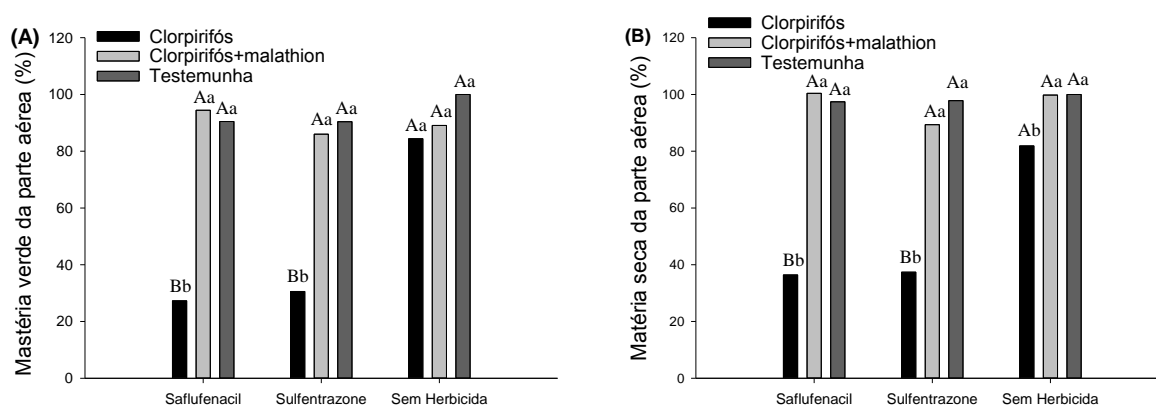


Figura 46 – Matéria verde da parte aérea (A) e matéria seca da parte aérea (B) aos 28 DAA dos herbicidas saflufenacil ($20,5 \text{ g ha}^{-1}$) e sulfentrazone (800 g ha^{-1}) sobre a cultivar de feijão BRSMG Talismã (Tolerante). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando herbicidas dentro de cada inibidor e minúsculas, comparando inibidores dentro de cada herbicida, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). O inibidor clorpirifós (1125 g ha^{-1}) foi aplicado no sulco de semeadura e a associação dos inibidores clorpirifós (1125 g ha^{-1}) e malathion (1000 g ha^{-1}) foi aplicada em pós-emergência no estágio V_2 .

Os resultados apresentados nesta seção indicam que o uso do inseticida organofosforado clorpirifós inibidor de enzimas metabolizadoras, juntamente com os herbicidas saflufenacil e sulfentrazone é capaz de reduzir a tolerância, altura de planta, MVPA e MSPA do feijão, sugerindo que a metabolização da molécula dos herbicidas deste mecanismo de ação seja um provável mecanismo de tolerância da cultura do feijão.

4.5.1.2 Ensaio com protetores (estimuladores) da metabolização

Na tolerância relativa (TR) aos 14 dias após aplicação (DAA) de saflufenacil (10 g ha^{-1}) em pré-emergência para a comparação de protetores, o uso do protetor anidrido naftálico em tratamento de sementes (TS), na dose de 5 g kg^{-1} de semente, proporcionou a maior TR (60%) da cultivar IAC Milênio (sensível), mas não diferiu estatística da testemunha contendo apenas o herbicida (45%). No entanto, foi mais eficiente em elevar a TR quando comparado ao uso de mefenpyr-diethyl (18 g ha^{-1}) em pós emergência (Pós) aplicado no estágio V_2 de desenvolvimento do feijão e quando aplicado diretamente em tratamento de sementes (TS) na dose de $0,3 \text{ g kg}^{-1}$ de sementes, respectivamente, 38,3 e 28,3% em relação a testemunha sem herbicida e sem protetor (**Figura 47A**). Para o herbicida sulfentrazone (200 g ha^{-1}) aplicado em pré-emergência, a cultivar IAC Milênio apresentou alta TR (91,7%) mesmo quando exposta apenas ao herbicida, não havendo diferença estatística quando empregados os protetores da metabolização. Na ausência dos herbicidas não foi evidenciado efeito negativo dos protetores sobre a TR desta cultivar, mesmo anidrido naftálico (TS) que resultou na menor TR (83,3%).

Na comparação de herbicidas dentro de protetores, considerando o protetor anidrido naftálico (TS), mefenpyr-diethyl (Pós), mefenpyr-diethyl (TS) e a testemunha com o herbicida isolado, em todos estes tratamentos a cultivar IAC Milênio apresentou alta TR ao herbicida sulfentrazone, enquanto foi expressivamente reduzida com o uso de saflufenacil (**Figura 47A**).

Na TR aos 28 DAA de saflufenacil (10 g ha^{-1}) para a comparação de protetores, independentemente do protetor testado não houve efeito protetor para a cultivar IAC Milênio submetida ao herbicida saflufenacil (**Figura 47B**). Para o

herbicida sulfentrazone (200 g ha^{-1}), a cultivar IAC Milênio na presença apenas do herbicida apresentou TR de apenas 60% e quando o herbicida foi combinado com os protetores anidrido naftálico (TS), mefenpyr-diethyl (Pós) e mefenpyr-diethyl (TS) houve efeito protetor, resultando em elevação da TR, que foi de 80, 90 e 96,7%, respectivamente, sendo o maior efeito protetor exercido pelo mefenpyr-diethyl (TS), mas não diferindo estatisticamente dos demais protetores. Na ausência dos herbicidas não foi evidenciado efeito negativo dos protetores sobre a TR desta cultivar, mesmo anidrido naftálico (TS) que resultou na menor TR (83,3%). Os protetores mefenpyr-diethyl (Pós) e mefenpyr-diethyl (TS) quando na ausência dos herbicidas não resultaram em efeitos negativos sobre a TR, enquanto anidrido naftálico (TS) foi fitotóxico sobre a cultivar IAC Milênio, resultando em redução da TR para 75%.

Na comparação de herbicidas dentro de protetores, considerando o protetor anidrido naftálico (TS), mefenpyr-diethyl (Pós) e mefenpyr-diethyl (TS) o herbicida sulfentrazone sempre foi menos fitotóxico quando comparado ao herbicida saflufenacil que gerou expressiva redução na TR de IAC Milênio (**Figura 47B**).

Dessa forma, os protetores foram capazes de proteger a cultivar IAC Milênio (sensível) do efeito fitotóxico do herbicida sulfentrazone, enquanto não protegem contra o herbicida saflufenacil. Isso é possível, pois a ação dos protetores é bastante específica para modo de aplicação (GALON et al., 2011), molécula herbicida e cultura (FERREIRA; CAETANO, 2001).

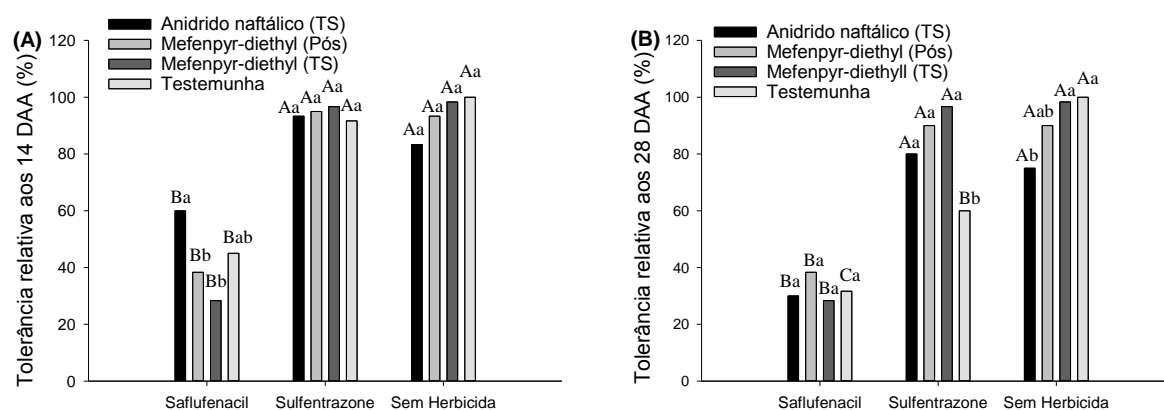


Figura 47 – Tolerância relativa aos 14 (A) e 28 (B) DAA dos herbicidas saflufenacil (10 g ha^{-1}) e sulfentrazone (200 g ha^{-1}) sobre a cultivar IAC Milênio (Sensível). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando herbicidas dentro de cada protetor e minúsculas, comparando protetores dentro de cada herbicida, não diferem estatisticamente pelo

teste de Duncan ($p < 0,05$). Anidrido naftálico (5 g kg^{-1} de semente) e mefenpyr-diethyl ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$ de sementes) em tratamento de sementes (TS) e mefenpyr-diethyl (18 g ha^{-1}) em pós-emergência (Pós) no estágio V_2 .

Na comparação entre os herbicidas na média dos protetores aos 14 DAA, o herbicida sulfentrazone (101,1%) não diferiu da testemunha sem herbicida (104,7%), enquanto saflufenacil afetou expressivamente a altura de planta (66,4%) (**Figura 48A**).

A altura de planta aos 28 DAA de saflufenacil (10 g ha^{-1}) para a comparação de protetores, independentemente do protetor testado não houve efeito protetor para a cultivar IAC Milênio submetida ao herbicida saflufenacil, assim como observado para a TR aos 28 DAA (**Figura 48B**). Já, para o herbicida sulfentrazone (200 g ha^{-1}), a cultivar IAC Milênio na presença apenas do herbicida apresentou altura de planta de 81,5%, havendo incremento nesta variável com o efeito protetor de mefenpyr-diethyl (Pós) (108,6%) e com mefenpyr-diethyl (TS) (125,9%) que exerceu maior efeito protetor, não havendo ação protetora de anidrido naftálico (TS) (91,4%), que não diferiu da testemunha apenas com herbicida. Na ausência dos herbicidas não foi observado efeito negativo dos protetores sobre a altura de planta de IAC Milênio em relação a testemunha sem herbicida e protetor, havendo efeito estimulatório para esta variável quando o mefenpyr-diethyl foi utilizado em TS (125,9%).

Na comparação de herbicidas dentro de protetores, considerando o protetor anidrido naftálico (TS), mefenpyr-diethyl (Pós) e mefenpyr-diethyl (TS) o herbicida sulfentrazone exerceu menor fitotoxicidade sobre a cultivar IAC Milênio, quando comparado ao saflufenacil que proporcionou redução significativa na altura de planta, corroborando com o observado para TR aos 14 e 28 DAA dos herbicidas (**Figura 48B**).

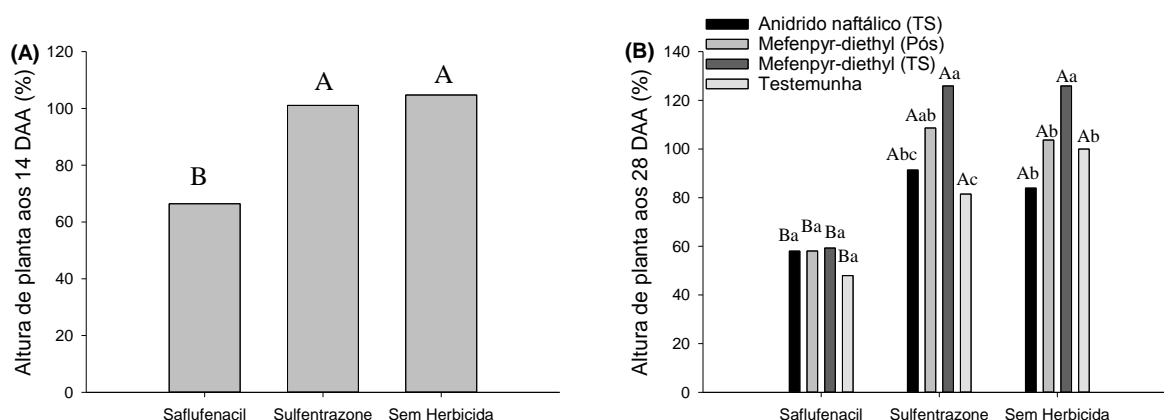


Figura 48 – Altura de planta aos 14 DAA (A) para herbicidas, na média dos protetores e aos 28 (B) DAA dos herbicidas saflufenacil (10 g ha^{-1}) e sulfentrazone (200 g ha^{-1}) sobre a cultivar IAC Milênio (Sensível). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando herbicidas na média dos protetores ou dentro de cada protetor e minúsculas, comparando protetores dentro de cada herbicida, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Anidrido naftálico (5 g kg^{-1} de semente) e mefenpyr-diethyl ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$ de sementes) em tratamento de sementes (TS) e mefenpyr-diethyl (18 g ha^{-1}) em pós-emergência (Pós) no estágio V_2 .

Para a matéria verde da parte aérea (MVPA) aos 28 DAA de saflufenacil (10 g ha^{-1}) na comparação de protetores, efeito protetor foi observado apenas quando mefenpyr-diethyl foi aplicado em pós-emergência (57,8%), quando comparado a baixa MVPA observada na testemunha contendo apenas o herbicida (36,3%), enquanto os demais protetores não diferiram da testemunha (**Figura 49A**). Para o herbicida sulfentrazone (200 g ha^{-1}), a cultivar IAC Milênio na testemunha contendo apenas do herbicida apresentou MVPA de apenas 62,7%, havendo aumento nesta variável principalmente com o efeito protetor de mefenpyr-diethyl (TS) (121,5%) que foi superior ao mefenpyr-diethyl (Pós) (90,5%) e anidrido naftálico (TS) (91,8%), os quais também foram superiores a testemunha. Na ausência dos herbicidas não foi constatado efeito negativo dos protetores sobre a MVPA de IAC Milênio em relação à testemunha sem herbicida e protetor, mesmo para anidrido naftálico que em aplicação na ausência dos herbicidas resultou em MVPA de 81,6%.

Na comparação de herbicidas dentro de protetores, considerando o protetor anidrido naftálico (TS), mefenpyr-diethyl (Pós) e mefenpyr-diethyl (TS) o herbicida sulfentrazone exerceu menor impacto negativo sobre a MVPA de IAC Milênio, enquanto saflufenacil gerou expressiva redução desta variável, corroborando com o observado para TR e altura de planta aos 14 e 28 DAA dos herbicidas.

A matéria seca da parte aérea (MSPA) na comparação entre os herbicidas na média dos protetores aos 28 DAA, sofreu maior impacto negativo da fitotoxicidade na aplicação de saflufenacil (64,3%), enquanto sulfentrazone resultou em MSPA de 96,1%, que não diferiu da testemunha sem herbicida (100,7%). Já, na comparação entre os protetores na média dos herbicidas, os protetores mefenpyr-diethyl (Pós) (92,1%) e mefenpyr-diethyl (TS) (89,9%) foram mais eficientes em proteger IAC Milênio dos efeitos fitotóxicos dos herbicidas, quando comparado ao protetor anidrido naftálico (TS) (74,3%), o qual não diferiu da testemunha na ausência dos herbicidas (70,3%).

Sabe-se que os protetores de plantas como o anidrido naftálico e mefenpyr-diethyl possuem a capacidade de induzir a expressão e a atividade de enzimas GSTs (CUMMINS; BRYANT; EDWARDS, 2009; ZHANG et al., 2007) e enzimas P_{450} (SIMINSZKY, 2006), que são responsáveis por processos de metabolização de moléculas herbicidas nas plantas. Assim, a proteção da cultivar IAC Milênio quando empregado o mefenpyr-diethyl sugere que o processo de metabolização de inibidores da Protox é importante na manifestação da tolerância do feijão a este mecanismo de ação herbicida.

Os resultados apresentados nesta seção demonstram eficiência do protetor mefenpyr-diethyl aplicado em pós-emergência (V_2) e em tratamento de semente, na elevação dos níveis de TR, altura de planta, MVPA e MSPA da cultivar sensível IAC Milênio quando em combinação com o herbicida sulfentrazone e ausência de proteção quando combinado com saflufenacil. Considerando as variáveis de TR, altura de planta e MVPA quando mefenpyr-diethyl foi aplicado em tratamento de sementes ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$ de sementes) resultou em maior efeito protetor quando comparado a sua aplicação em pós-emergência (18 g ha^{-1}) no estágio V_2 , em que a dose em g ha^{-1} tanto em TS quanto em pós-emergência é a mesma, considerando-se a semeadura de 60 kg de sementes de feijão ha^{-1} . Isso pode ser atribuído ao fato do protetor quando presente diretamente na semente, estimular a expressão e a atividade das enzimas metabolizadoras de forma antecipada em relação a ação do herbicida sulfentrazone, favorecendo a ação metabolizadora sobre as moléculas do herbicida que resulta em menor impacto negativo do herbicida sobre as plântulas.

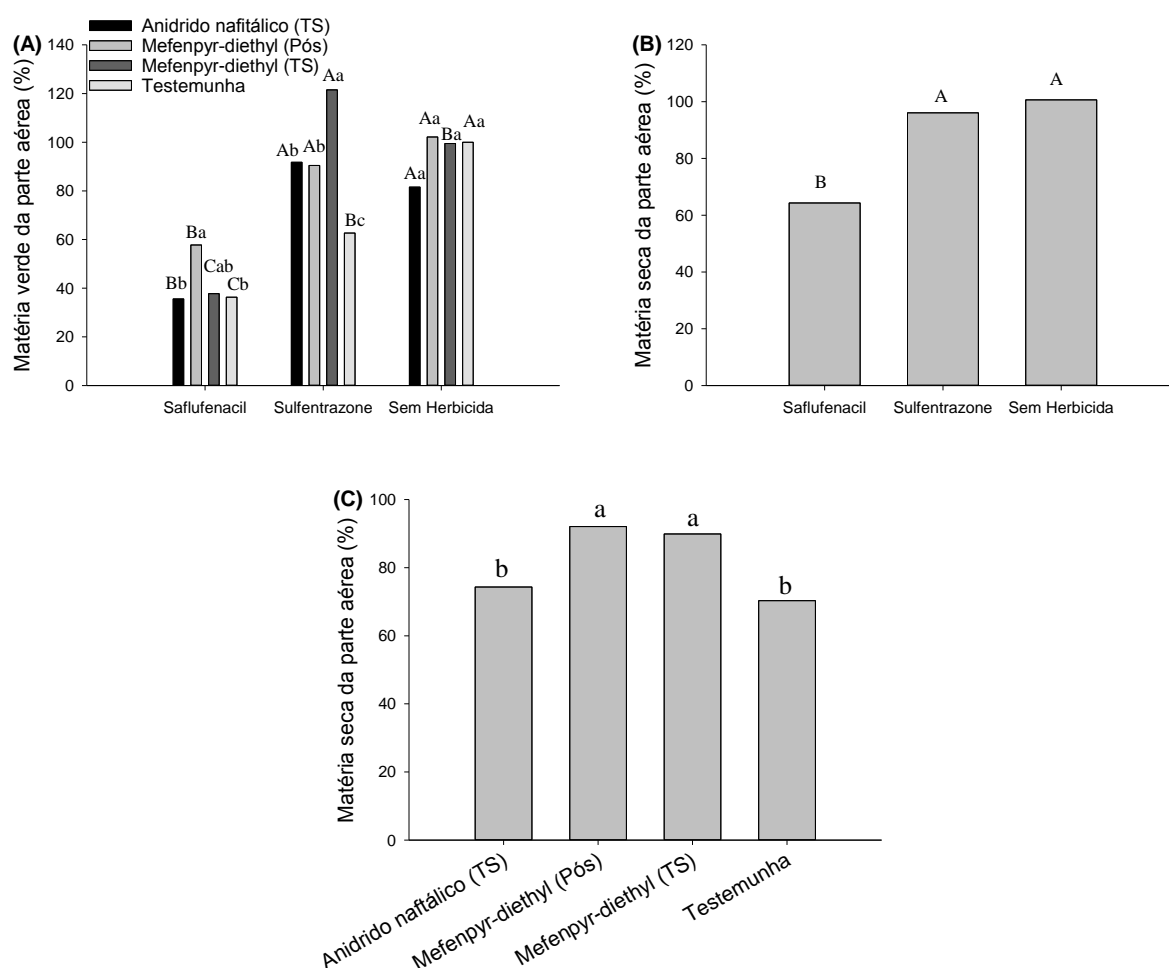


Figura 49 – Matéria verde da parte aérea na interação entre cultivares e protetores (A) e matéria seca da parte aérea para herbicidas, na média dos protetores (C) e para protetores, na média dos herbicidas (D) aos 28 DAA dos herbicidas saflufenacil (10 g ha^{-1}) e sulfentrazone (200 g ha^{-1}) sobre a cultivar de feijão IAC Milênio (Sensível). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando herbicidas na média dos protetores ou dentro de cada protetor e minúsculas, comparando protetores na média dos herbicidas ou dentro de cada herbicida, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Anidrido naftálico (5 g kg^{-1} de semente) e mefenpyr-diethyl ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$ de sementes) em tratamento de sementes (TS) e mefenpyr-diethyl (18 g ha^{-1}) em pós-emergência (Pós) no estágio V_2 .

Assim como a redução na tolerância do feijão quando inibidores de metabolização são empregados juntamente com inibidores de Prottox o aumento da proteção gerada pelo uso dos protetores combinados ao herbicida sulfentrazone nas diferentes variáveis avaliadas sugere o envolvimento do processo de metabolização da molécula dos herbicidas inibidores da Prottox na cultura do feijão, como sendo um provável mecanismo de tolerância do feijoeiro a este mecanismo de ação herbicida.

4.5.2 Ensaio Definitivo da Metabolização

No ensaio final de metabolização observou-se que a altura de planta foi afetada negativamente com o incremento nas doses de sulfentrazone em avaliação aos 14 DAA (**Figura 50A**). O protetor (mefenpyr-diethyl) aplicado em tratamento sementes ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$ de sementes) em todas as doses efetivas do herbicida sulfentrazone foi capaz de proteger parcialmente a cultura, resultando em altura de planta superior em relação aquelas que foram tratadas apenas com o herbicida. A associação do protetor cloquintocet-mexyl ao herbicida dimethenamid foi capaz de aumentar o comprimento de raízes e da altura de planta de *Triticum tauschii* (ZHANG et al., 2007). De maneira oposta, o inibidor (clorpirifós) aplicado diretamente no sulco de semeadura na dose de 1125 g ha^{-1} em todas as doses efetivas de sulfentrazone, resultou em alturas de planta inferiores aquelas que receberam apenas o herbicida.

Quando o herbicida foi associado ao inibidor a dose de $263,5 \text{ g ha}^{-1}$ de sulfentrazone foi suficiente para reduzir em 50% (D_{50}) a altura de planta, enquanto que quando associado ao protetor foi necessária a dose de $987,5 \text{ g ha}^{-1}$, similar a condição de aplicação isolada do herbicida ($1001,5 \text{ g ha}^{-1}$). Esse resultado indica a ausência de efeito protetor na variável altura de planta (**Tabela 34**).

Na interação entre as cultivares e inibidor, protetor e herbicida, a aplicação do protetor não resultou em aumento de proteção das plantas da cultivar BRSMG Talismã, pois não diferiu estatisticamente do tratamento em que foi aplicado apenas o herbicida, mas a aplicação do inibidor resultou em redução altura de planta (**Figura 50B**). O protetor foi eficiente em proteger a cultivar IAC Milênio do efeito do herbicida, resultando em altura de planta superior (89,9%) em relação ao tratamento apenas com herbicida (82,9%) e a aplicação do inibidor gerou altura de planta (48,9%) muito inferior aos demais tratamentos.

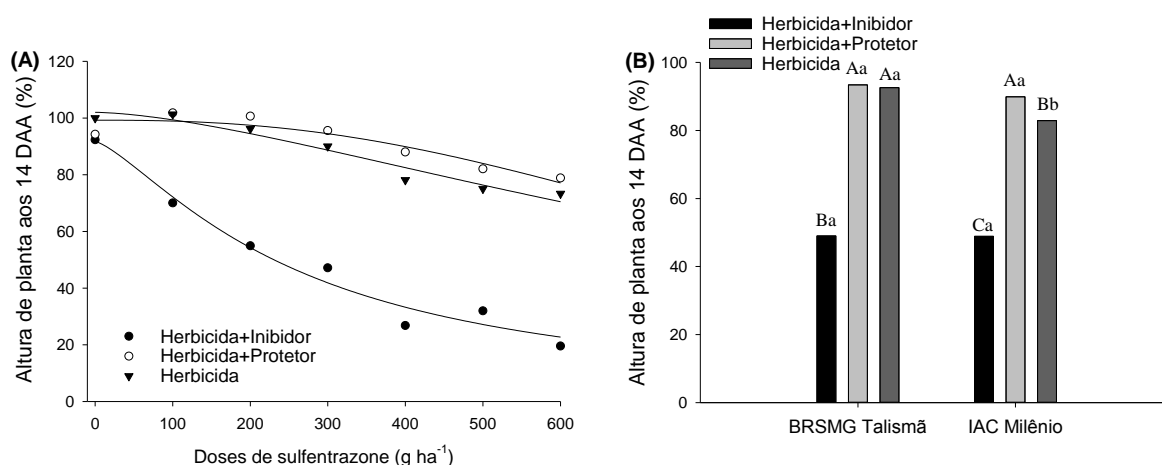
Na comparação entre as cultivares não houve diferença estatística quando aplicado o inibidor e o protetor, havendo diferença somente quando as cultivares foram submetidas a aplicação do herbicida isolado, em que BRSMG Talismã apresentou altura superior (92,6%) a IPR Tuiuiú (82,9%).

A altura de planta também foi afetada negativamente com o incremento nas doses de sulfentrazone aos 21 DAA (**Figura 50C**). O protetor foi capaz de

proteger parcialmente as plantas a partir da dose de 300 g ha⁻¹ de sulfentrazone, resultando em altura de planta superior as plantas tratadas apenas com o herbicida isolado, enquanto que o inibidor em todas as doses efetivas de sulfentrazone resultou em altura de planta muito inferior as plantas que receberam o herbicida isolado, chegando a próximo de 30% na maior dose.

Quando o sulfentrazone foi associado ao inibidor, a dose de 396,3 g ha⁻¹ do herbicida foi suficiente para reduzir em 50% a altura de planta, 356,2 g ha⁻¹ quando associado ao protetor e 872,3 g ha⁻¹ quando herbicida este isolado. O baixo valor de D₅₀ para herbicida associado ao protetor deve-se ao baixo ajuste da curva, que subestima o valor da dose (**Tabela 34**).

Na comparação entre inibidor, protetor e herbicida, a aplicação do protetor resultou altura de planta (84,7%) inferior ao tratamento com o herbicida isolado (92,7%), indicando que este não foi capaz de proteger as plantas da cultivar BRSMG Talismã contra o efeito do herbicida e ainda proporcionou efeito negativo sobre esta variável (**Figura 50D**). Já, a aplicação do inibidor resultou em menor altura de planta (52,8%) comparativamente ao tratamento com protetor e herbicida isolado. O protetor foi eficiente em proteger a cultivar IAC Milênio do efeito do herbicida, resultando em altura de planta superior (102,3%) em relação ao tratamento apenas com herbicida (91,2%) e a aplicação do inibidor gerou altura de planta de apenas 64,2% em relação à testemunha, sendo inferior aos demais tratamentos.



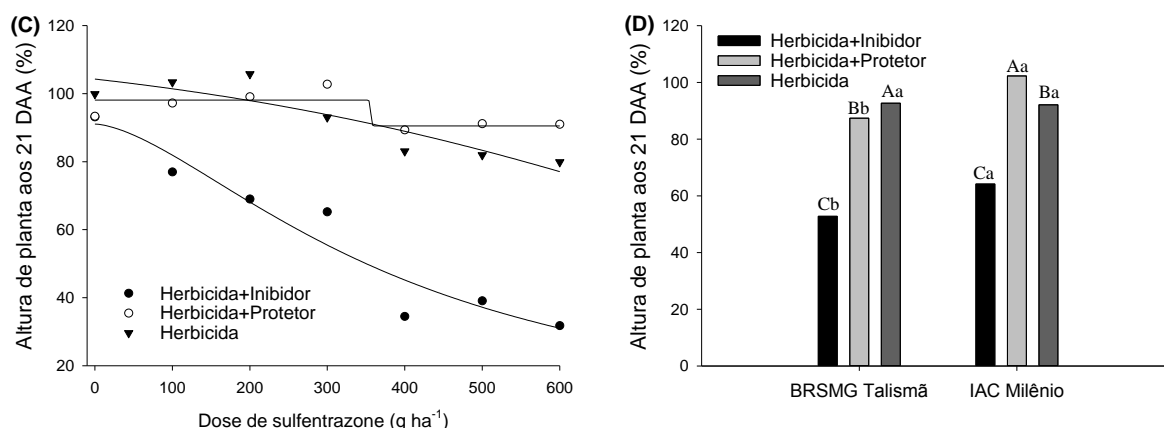


Figura 50 – Altura de planta (% relativa à testemunha) aos 14 (A) e 21 DAA de sulfentrazone (C) considerando herbicida+inibidor, herbicida+protetor e herbicida na média das cultivares e aos 14 (B) e 21 DAA de sulfentrazone (D) considerando herbicida+inibidor, herbicida+protetor e herbicida, na média das doses. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando inibidor, protetor e herbicida dentro de cada cultivar e minúsculas, comparando cultivares dentro de inibidor, protetor e herbicida, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). O protetor mefenpyr-diethyl ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$ de sementes) foi aplicado em tratamento de sementes (TS) e o inibidor clorpirifós (1125 g ha^{-1}) no sulco de semeadura.

Tabela 34 - Parâmetros da equação^(1,4), coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para a variável altura de planta (% relativa à testemunha) aos 14 e 21 DAA de sulfentrazone.

Variável	Tratamentos	Parâmetros				R^2	p
		a	b	D_{50}	y_0		
Altura de planta aos 14 DAA	Herbicida+Inibidor	¹ 91,711	1,350	263,533	-	0,97	0,0007
	Herbicida+Protetor	¹ 99,265	2,506	987,710	-	0,83	0,0134
	Herbicida	¹ 102,038	1,571	1001,534	-	0,93	0,0023
Altura de planta aos 21 DAA	Herbicida+Inibidor	¹ 91,064	1,592	396,294	-	0,89	0,0052
	Herbicida+Protetor	⁴ -7,598	0,671	356,206	98,115	0,35	0,2834
	Herbicida	¹ 115,406	-389,59	872,273	-	0,73	0,0330

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros; ⁴Equação sigmoidal sigmoide de quatro parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D_{50} = dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%; y_0 = assíntota mínima da curva.

Aos 14 DAA do herbicida sulfentrazone a tolerância relativa (TR) da cultivar IAC Milênio foi menor em relação a BRSMG Talismã a partir da dose de 300 g ha^{-1} do herbicida isolado, ficando próximo a 60%, enquanto BRSMG Talismã manteve-se próxima a 100% na maior dose (600 g ha^{-1}) (**Figura 51A**). A TR de BRSMG Talismã quando submetida ao protetor foi levemente superior a quando submetida apenas ao herbicida isolado. Para a cultivar IAC Milênio, a utilização do protetor resultou em menor redução da TR, comparada ao tratamento isolado do herbicida, em que a TR na maior dose foi de quase 60%. De modo oposto ao efeito

do protetor, as cultivares BRSMG Talismã e IAC Milênio sofreram drástica redução na TR quando submetidas ao tratamento com o inibidor, em que na dose recomendada de campo (600 g ha^{-1}) para a soja, a TR foi muito baixa (aproximadamente 20%).

Este resultado também é observado através dos valores de D_{50} , em que na cultivar BRSMG Talismã e IAC Milênio a associação do protetor ao sulfentrazone resultou em D_{50} de 4292,4 e 884,9 g ha^{-1} muito superior ao herbicida isolado (1715,9 e 696,9 g ha^{-1}) e quando associado ao inibidor (337,3 e 308,4 g ha^{-1}). Assim, o protetor foi capaz de proteger as cultivar do efeito do herbicida, enquanto o inibidor favoreceu o efeito do herbicida.

A TR das cultivares BRSMG Talismã e IAC Milênio nos diferentes tratamentos sofreu redução com o aumento das doses de sulfentrazone, assim como redução dos 14 para os 21 DAA (**Figura 51B**). Aos 21 DAA a cultivar IAC Milênio apresentou menor TR em relação a cultivar BRSMG Talismã a partir da dose de 300 g ha^{-1} do herbicida isolado, chegando a quase 35% na maior dose (600 g ha^{-1}), enquanto que na BRSMG Talismã foi reduzida apenas para próximo de 75%.

A TR de BRSMG Talismã quando submetida ao protetor foi similar a quando submetida ao herbicida isolado, mantendo-se próxima a 100%. Isso indica que esta cultivar apresenta alta TR ao sulfentrazone mesmo em dose de 600 g ha^{-1} , não sendo possível verificar efeito de proteção do protetor pelo fatos dos níveis de TR já serem elevados.

Para a cultivar IAC Milênio a utilização do protetor resultou em menor redução da TR, ficando próximo de 65% na dose de 600 g ha^{-1} de sulfentrazone, mas sendo reduzida para cerca de 35% quando o herbicida foi empregado isoladamente. Assim, o protetor protegeu a cultivar de modo que a TR não sofresse drástica redução com o aumento das doses do herbicida.

Quando analisado os valores de D_{50} para as cultivares BRSMG Talismã e IAC Milênio, verificou-se que a associação do protetor ao sulfentrazone resultou em D_{50} de 953,6 e 780,8 g ha^{-1} , superior ao herbicida isolado (918,7 e 443,4 g ha^{-1}) e quando associado ao inibidor (219,0 e 277,5 g ha^{-1}) (**Tabela 35**).

O efeito protetor gerado pelo mefenpyr-diethy também constatado no ensaio preliminar com o uso de protetores pode ser atribuído ao fato de que

protetores de plantas como o mefenpyr-diethyl possuem a capacidade de induzir a expressão e a atividade de enzimas GSTs e P₄₅₀, as quais são responsáveis pelo processo de metabolização de moléculas de herbicidas em plantas. Aumento da atividade e expressão da enzima GST após a aplicação do protetor mefenpyr-diethyl com o herbicida fenoxaprop-ethyl (inibidor da ACCase) foi observada em plantas de *Alopecurus myosuroides*. (CUMMINS; BRYANT; EDWARDS, 2009). Assim, sugere-se que a proteção gerada pelo protetor quando associado ao herbicida nas duas cultivares, esteja relacionado a aumento nos níveis de expressão e atividade das enzimas metabolizadoras.

Da mesma forma que evidenciado no ensaio preliminar com o uso de inibidores, quando as cultivares foram submetidas ao inibidor associado ao sulfentrazone houve drástica redução na TR mesmo para a mais tolerante (BRSMG Talismã), em que na maior dose (600 g ha⁻¹) foi reduzida para cerca de 10% em ambas as cultivares. Sugere-se que a redução da TR com o emprego de clorpirifós tenha ocorrido pelo fato deste inseticida pertencente ao grupo dos organofosforados, apresentar a capacidade inibir a atividade das enzimas metabolizadoras de herbicidas como as GSTs e P₄₅₀ (LEAH et al., 1995; TREZZI; NUNES; PORTES, 2009; BUSI; GAINES; POWLES, 2017; TORRES; ORTIZ, 2017). Vários estudos reportam aumento nos níveis de controle de diferentes espécies quando ao herbicida foi associado inseticida organofosforado. Em estudo realizado por Leah et al. (1995), a aplicação de inseticida organofosforado juntamente com o herbicida propanil permitiu o controle de plantas de capim-arroz (*Echinochloa colona*) resistentes, pois o inseticida inibiu a atividade das enzimas que detoxificam o herbicida nas plantas resistentes. Torres e Ortiz (2017), aplicando malathion com bispyribac-sodium constataram aumento no controle de plantas resistentes de *Ischaemum rugosum*, resultando em massa seca inferior ao tratamento apenas com o herbicida. Em *Lolium rigidum* Busi, Gaines, Powles (2017), constataram aumento no nível de controle quando aos herbicidas chlorsulfuron e trifluralin foi associado o inseticida phorate.

Os resultados com efeito protetor e efeito inibidor das enzimas de metabolização com o uso de protetores e inseticidas organofosforados,

respectivamente, sugerem o envolvimento do processo de metabolização como sendo um mecanismo de tolerância do feijão aos herbicidas inibidores da Prottox.

Em espécies cultivadas diferentes mecanismos conferem tolerância aos inibidores da Prottox. A concentração aumentada da enzima Prottox mitocondrial em soja par ao herbicida oxifluorfen (WARABI et al., 2001) mínima translocação, associada à rápida metabolização de fluorodifen em amendoim (EASTIN, 1971), alta concentração da enzima glutationa-S-transferase, que aumenta a conjugação do herbicida em ervilha (FREAR; SWANSON, 1973), posicionamento físico e tolerância natural do milho ao saflufenacil em pré-emergência (LIEBL et al., 2008), rápida metabolização de sulfentrazone em soja (DAYAN et al., 1997), reduzida absorção, translocação e rápida detoxificação do herbicida flumiclorac em soja e reduzida retenção foliar e a elevada metabolização no milho (FAUSEY; RENNER, 2000).

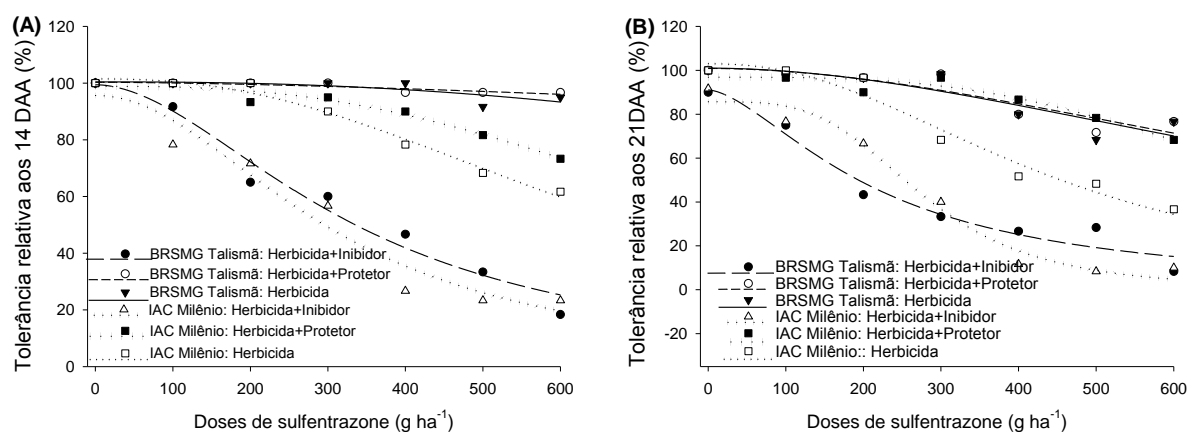


Figura 51 – Tolerância relativa (% relativa à testemunha) do feijão aos 14 (A) e 21 DAA (B) de sulfentrazone nas combinações de BRSMG Talismã (Tolerante) e IAC Milênio (Sensível) com inibidor, protetor e apenas herbicida. O protetor mefenpyr-diethyl (0,3 g kg⁻¹ de sementes) foi aplicado em tratamento de sementes (TS) e o inibidor clorpirifós (1125 g ha⁻¹) no sulco de semeadura.

Tabela 35 - Parâmetros da equação⁽¹⁾, coeficiente de determinação (R²) e probabilidade (p) para a variável tolerância relativa (% relativa à testemunha) aos 14 e 21 DAA de sulfentrazone.

Variável	Tratamentos	Parâmetros			R ²	p
		a	b	D ₅₀		
Tolerância relativa 14 DAA	BRSMG Talismã: Herbicida+Inibidor	¹ 99,433	1,870	337,270	0,96	0,0008
	BRSMG Talismã: Herbicida+Protetor	¹ 100,322	1,584	4292,426	0,68	0,0449
	BRSMG Talismã: Herbicida	¹ 100,455	2,450	1715,957	0,43	0,1441
	IAC Milênio: Herbicida+Inibidor	¹ 95,670	2,035	308,434	0,93	0,0022
	IAC Milênio: Herbicida+Protetor	¹ 98,917	2,748	884,899	0,95	0,0013
	IAC Milênio: Herbicida	¹ 101,537	2,389	696,937	0,98	0,0002

	BRSMG Talismã: Herbicida+Inibidor	¹ 91,088	1,603	219,034	0,94	0,0013
	BRSMG Talismã: Herbicida+Protetor	¹ 100,873	1,910	953,592	0,75	0,0285
Tolerância relativa 21 DAA	BRSMG Talismã: Herbicida	¹ 101,02	1,921	918,753	0,7	0,0393
	IAC Milênio: Herbicida+Inibidor	¹ 85,709	3,673	277,489	0,97	0,0005
	IAC Milênio: Herbicida+Protetor	¹ 96,934	3,282	780,774	0,89	0,0055
	IAC Milênio: Herbicida	¹ 102,038	2,277	443,378	0,95	0,0012

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D₅₀= dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

A redução da altura de planta e da TR das cultivares BRSMG Talismã e IAC Milênio resultou em redução da matéria verde da parte aérea (MVPA) conforme o aumento das doses dos herbicidas, sendo menos pronunciada para a BRSMG Talismã na presença do protetor (**Figura 52A**). A MVPA de BRSMG Talismã quando tratada com o protetor foi superior ao tratamento com herbicida isolado apenas na maior dose de sulfentrazone (600 g ha⁻¹).

Em todas as doses efetivas do herbicida o protetor foi capaz de exercer efeito protetor para IAC Milênio, que teve a MVPA reduzida para apenas cerca de 95% quando o herbicida foi associado ao protetor, mas quando sulfentrazone foi isolado chegou a próximo de 65%. As cultivares BRSMG Talismã e IAC Milênio sofreram drástica redução na MVPA quando submetidas ao inibidor, o que resultou em MVPA de aproximadamente 20 e 30% na maior dose de sulfentrazone (600 g ha⁻¹), respectivamente. Tais resultados demonstram efeito protetor para a cultivar IAC Milênio e efeito inibidor da metabolização para ambas as cultivares. Os valores de D₅₀ foram sub ou superestimados para ambas as cultivares devido aos baixos ajustes das curvas (**Tabela 36**).

A matéria seca da parte aérea (MSPA) na média das cultivares foi reduzida conforme a elevação das doses do herbicida (**Figura 52B**). O protetor resultou em MSPA superior ao tratamento com o herbicida isolado nas doses de 300, 400, 500 e 600 g ha⁻¹ de sulfentrazone. Assim, o protetor foi capaz de proteger as plantas evitando drásticas reduções na MSPA. As reduções muito expressivas observadas na altura de planta, TR e MVPA, influenciaram para que a MSPA fosse reduzida para quase 25% na maior dose do herbicida (600 g ha⁻¹).

Na comparação entre inibidor, protetor e herbicida, a aplicação do protetor não resultou em aumento de proteção das plantas da cultivar BRSMG Talismã, pois não diferiu estatisticamente do tratamento em que foi aplicado apenas

o herbicida, contudo, a aplicação do inibidor resultou em menor MSPA (48,1%) (**Figura 52C**). O protetor foi eficiente em proteger a cultivar IAC Milênio do efeito do herbicida, resultando em MSPA superior (90,1%) em relação ao tratamento com o herbicida isolado (80,5%) e a aplicação do inibidor gerou MSPA de apenas 51,1%, muito inferior aos demais tratamentos.

Na comparação entre as cultivares não houve diferença quando foi aplicado o inibidor e o protetor, havendo diferença somente quando as cultivares foram submetidas a aplicação do herbicida isolado, em que BRSMG Talismã apresentou MSPA superior (91,9%) a IAC Milênio (80,5%).

A campo, a presença de palha na superfície do solo permite que parte do herbicida não chegue ao solo, fato que pode resultar em maior nível de TR das cultivares em mesma dose de sulfentrazone empregada neste estudo. Considerando manejo de plantas daninhas de folhas largas com sulfentrazone em pré-emergência do feijão na dose de 600 g ha⁻¹ a qual é recomendada para a cultura da soja, mesmo empregando o protetor mefempyr-diethyl em tratamento de sementes, haveria fitotoxicidade para a cultura, inclusive para a cultivar mais tolerante BRSMG Talismã. O fato de mefempyr-diethyl apresentar efeito protetor ao feijão quando aplicado em tratamento de sementes é de grande importância, pois evita as chances de haver efeito protetor também para plantas daninhas que venham a entrar em contato com o produto, o que seria possível de acontecer caso houvesse a necessidade de aplicação pós-emergente da cultura. Por este motivo, os protetores apenas podem ser utilizados quando o efeito protetor se manifestar na cultura (ROSENHAUER; ROSINGER; PETERSEN, 2016). Além disso, o custo deste protetor permanece alto o que eleva os custos de produção ao agricultor.

O fato de herbicidas inibidores da Protox associados a inseticidas organofosforados proporcionarem maiores níveis de injúria na cultura do feijão, ressalta a importância de não realizar mistura entre estes produtos em manejos na pré e pós-emergência do feijão. Considerando o envolvimento da metabolização na manifestação da tolerância do feijão aos inibidores da Protox, o aumento de doses de fomesafen que já possui registro para esta cultura, sua associação a alta dose de adjuvante ou aplicação em condições que aumentem consideravelmente sua absorção pode resultar na redução da tolerância da cultura.

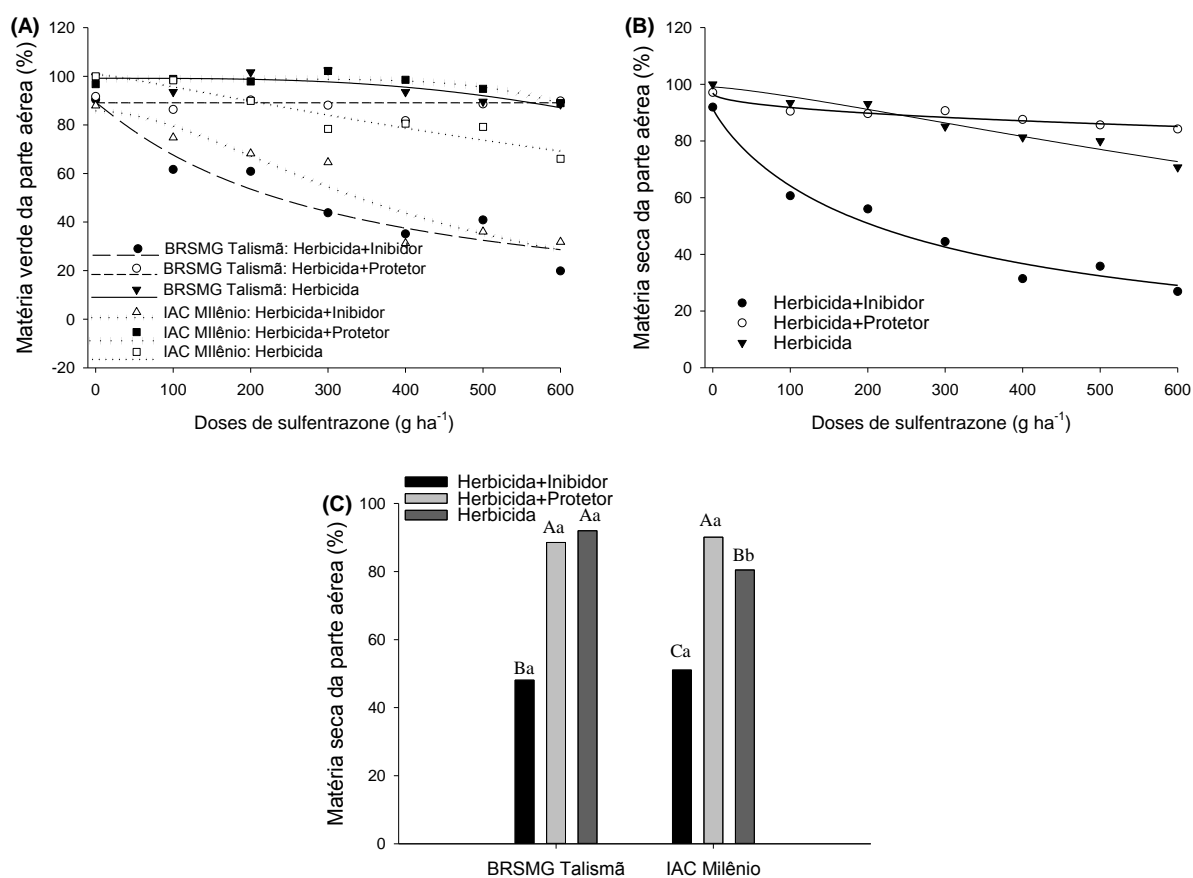


Figura 52 – Matéria verde da parte aérea (% relativa à testemunha) considerando a interação tripla (A) e matéria seca da parte aérea considerando herbicida+inibidor, herbicida+protetor e herbicida, na média das cultivares (B) e considerando cultivares na média das doses (C). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, comparando inibidor, protetor e herbicida dentro de cada cultivar e minúsculas, comparando cultivares dentro de inibidor, protetor e herbicida, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). O protetor mefenpyr-diethyl ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$ de sementes) foi aplicado em tratamento de sementes (TS) e o inibidor clorpirifós (1125 g ha^{-1}) no sulco de semeadura.

Tabela 36 - Parâmetros das equações^(1,5), coeficiente de determinação (R^2) e probabilidade (p) para as variáveis matéria verde da parte aérea (MVPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA) aos 21 DAA de sulfentrazone.

Variável	Tratamentos	Parâmetros			R^2	p
		a	b	D_{50}		
MVPA	BRSMG Talismã: Herbicida+Inibidor	189,274	1,055	294,199	0,88	0,0059
	BRSMG Talismã: Herbicida+Protetor	$^58,7 \times 10^{-6}$	-399,99	89,11	0,6	0,0719
	BRSMG Talismã: Herbicida	199,179	3,188	1114,232	0,43	0,1431
	IAC Milênio: Herbicida+Inibidor	185,796	1,806	408,184	0,86	0,0085
	IAC Milênio: Herbicida+Protetor	198,949	6,454	839,419	0,74	0,0302
	IAC Milênio: Herbicida	1100,863	1,191	1159,692	0,86	0,0088
MSPA	Herbicida+Inibidor	191,532	0,903	257,001	0,957	0,0008
	Herbicida+Protetor	196,907	0,512	28601,462	0,88	0,0063

Herbicida	¹ 99,051	1,303	1308,846	0,94	0,0017
-----------	---------------------	-------	----------	------	--------

¹Equação sigmoidal logística de três parâmetros; ⁵Equação hipérbole hiperbólica decrescente de três parâmetros. a= assíntota máxima da curva; b= declividade da curva; D₅₀= dose necessária para reduzir a variável dependente em 50%.

A proteção gerada pelo protetor mefenpyr-diethyl (0,3 g kg⁻¹ de semente) principalmente para a cultivar IAC Milênio (Sensível) e as reduções na altura de planta, TR, MVPA e MSPA, tanto para IAC Milênio como da BRSMG Talismã (Tolerante) proporcionadas pelo inibidor clorpirifós evidenciadas neste trabalho, sugere o envolvimento do processo de metabolização das moléculas herbicidas como um provável mecanismos de tolerância da cultura do feijão aos herbicidas inibidores da enzima Prottox.

5 CONCLUSÕES

A tolerância de plantas de feijão ao herbicida saflufenacil em doses compatíveis para o manejo de plantas daninhas ocorre apenas na modalidade de pré-emergência. Em pós-emergência doses muito reduzidas de saflufenacil causam a morte rápida das plantas.

A maior tolerância ao saflufenacil aplicado em pré-emergência na dose de 20,5 g ha⁻¹ foi manifestada pela cultivar BRSMG Talismã, enquanto a menor tolerância nesta dose foi evidenciada na cultivar IAC Milênio.

A tolerância aos herbicidas saflufenacil, sulfentrazone, flumioxazin e fomesafen aplicados em pré-emergência varia de acordo com a cultivar e dose utilizada, sendo fomesafen o herbicida que confere maior seletividade às distintas cultivares. Não existe um padrão de tolerância cruzada aos herbicidas inibidores da Protox aplicados em pré-emergência entre todas as cultivares de feijão avaliadas.

A nível de campo, considerando as condições edafoclimáticas em que os experimentos foram efetuados, o herbicida saflufenacil apresentou controle de plantas daninhas satisfatório apenas na maior dose (52,5 g ha⁻¹), a qual causou alta fitotoxicidade para o feijão e a densidade de plantas daninhas m⁻² permaneceu alta.

O herbicida sulfentrazone na dose de 400 g ha⁻¹ foi seletivo para as cultivares BRSMG Talismã e IPR Tuiuiú e proporcionou nível satisfatório de controle de plantas daninhas, mas necessitou de elevação da dose (900 g ha⁻¹) para proporcionar a maior redução na densidade geral das plantas daninhas, em ambos os locais de teste. A produtividade da testemunha não tratada no experimento CPD foi superada apenas pela cultivar BRSMG Talismã na maior dose do herbicida sulfentrazone (900 g ha⁻¹) no município de Pato Branco e não superada no município de Verê. Nos dois locais de teste, doses maiores do herbicida saflufenacil foram toleradas pela BRSMG Talismã, mas a densidade de ambas as cultivares é reduzida drasticamente na dose de 52,5 g ha⁻¹, a qual é necessária para alcançar nível satisfatório de controle das plantas daninhas e maior redução na sua densidade geral. A produtividade da testemunha não tratada no experimento CPD, em nenhum tratamento combinado com saflufenacil, foi superada no município de Pato Branco e Verê. Considerando o experimento CPD, em ambos os locais de teste o aumento das doses de sulfentrazone proporcionaram elevação do rendimento de grãos

devido ao controle das plantas daninhas, enquanto o aumento das doses de saflufenacil elevaram o rendimento da cultivar BRSMG Talismã, mas para IPR Tuiuiú ocasionou redução do rendimento devido a alta fitotoxicidade gerada pelo herbicida.

O aumento nos níveis de tolerância da cultivar sensível com o protetor mefenpyr-diethyl e a redução nos níveis de tolerância da cultivar tolerante com o inibidor clorpirifós sugerem influência do processo de metabolização na tolerância do feijão aos herbicidas inibidores da Protox.

Considerando as condições edafoclimáticas em que os experimentos foram efetuados, sulfentrazone demonstra potencial para uso na modalidade de pré-emergência da cultura do feijão na dose de 400 g ha^{-1} , havendo a necessidade da avaliação da seletividade a campo para outras cultivares, tipos de solo e condições edafoclimáticas distintas das avaliadas neste trabalho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo representa um avanço no conhecimento da tolerância do feijão aos herbicidas inibidores da enzima Prottox na modalidade de aplicação em pré-emergência, fornecendo informações importantes quanto aos níveis de fitotoxicidade a diferentes cultivares, aos níveis de controle de espécies daninhas problemáticas e representativas de muitas áreas cultivadas com feijão.

Utilizando como padrão herbicidas inibidores da Prottox registrados para uso na cultura do feijão e outros não registrados, como o saflufenacil, os experimentos conduzidos na presente tese indicam que o herbicida sulfentrazone constitui uma potencial alternativa para o manejo químico nesta cultura em pré-emergência, em função da seletividade para grande número de cultivares de feijão, com a utilização de dose que permite a eficiência de controle de muitas espécies daninhas problemáticas.

Atualmente, não existe nenhum herbicida registrado para utilização em pré-emergência na cultura do feijão, que apresente perfil para controle de espécies daninhas predominantemente dicotiledôneas, como é o caso do sulfentrazone. Sulfentrazone em pré-emergência controla predominantemente espécies daninhas dicotiledôneas, mas também algumas espécies daninhas gramíneas, como o papuã (*Urochloa plantaginea*). Dentre as vantagens do uso de herbicidas pré-emergentes podem ser destacadas o controle das plantas daninhas em fase mais sensível e antes que venham a competir com a cultura, reduzindo o número de plantas que deverão ser controladas em pós-emergência com o emprego de outros herbicidas, complementando a eficiência deste sistema de manejo.

Este trabalho instiga pesquisadores a desenvolverem novos estudos a campo, empregando cultivares utilizadas por produtores sendo submetidas a doses próximas a 400 g ha^{-1} de sulfentrazone, testando outras espécies daninhas e em área de plantio direto sobre palhada de milho e soja. Estudos buscando informações mais refinadas também merecem atenção, como estudos bioquímicos de atividade de enzimas antioxidantes e enzimas metabolizadoras P_{450} e GST_s , moleculares como a expressão dos genes que regulam as enzimas metabolizadoras, fisiológicos envolvendo a absorção e translocação de herbicidas inibidores da Prottox e estudos genéticos envolvendo cruzamentos entre cultivar mais tolerante e mais sensível, que

permitirá elucidar os mecanismos e o número de genes envolvidos na manifestação da tolerância a este mecanismo de ação herbicida no feijão, além disso, por meio de cruzamentos a transferência de genes de tolerância em cultivares produtivas, aliando aumento de tolerância com produtividade de grãos.

REFERÊNCIAS

AGROFIT - Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. **Consulta de ingrediente ativo**. 2016. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 27 fev. 2016.

AHMAD-HAMDANI, M. S.; YU, Q.; HAN, H. P.; CAWTHRAY, G.; WANG, S. F.; POWLES, S. B. Herbicide resistance endowed by enhanced rates of herbicide metabolism in wild oat (*Avena* spp.). **Weed Science**, v. 61, n. 1, p. 55–62, 2013.

AZANIA, C.A.M.; AZANIA, A.A.P.M.; PIZZO, I.V.; SCHIAVETTO, A.R.; ZERA, F.S.; MARCARI, M.A.; SANTOS, J.L. Manejo químico de Concolculaceae e Euphorbiaceae em cana-de-açúcar em período de estiagem. **Planta Daninha**, v. 27, n. 4, p. 841-848, 2009.

BAILEY, W. A.; HATZIOS, K. K.; BRADLEY, K. W.; WILSON, H. P. Absorption, translocation, and metabolism of sulfentrazone in potato and selected weed species. **Weed Science**, v. 51, n. 1, p. 32-36, 2003.

BARROS, A. C.; MONTEIRO, P. M. F.; FURTADO, X. C.; NUNES Jr., J.; GUERZONI, R. A. Tolerância de cultivares de soja aos herbicidas imazaquin, diclosulam e sulfentrazone, aplicados em solo de textura arenosa. **Revista Brasileira de Plantas Daninhas**, v. 4, n. 1, 2005.

BASF - Badische Anilin Und Soda-Fabrik. **Herbicida Heat®**. 2018b. Disponível em: <<http://www.adapar.pr.gov.br/arquivos/File/defis/DFI/Bulas/Herbicidas/heat.pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2018.

BASF - Badische Anilin Und Soda-Fabrik. **Kixor™ Herbicide Technical Brochure**. Agricultural Products Division, Research Triangle Park, NC: BASF Corporation. 9 p. 2018a. Disponível em: <http://gcgdgraphics.com/images/lay_basf_kixor_brochure.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2018.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Decreto 4.074 que regulamenta a Lei 7.802 de 11 de julho de 1989 que dispõe sobre agrotóxicos, seus componentes e afins e de outras providencias**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2002.

BRESSANIN, F. N.; GIANCOTTI, P. R. F.; NETO, N. J.; AMARAL, C. L. A.; ALVES, P. L. C. A. Eficácia de herbicidas aplicados isolados em pré e pós-emergência no controle de mucuna-preta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 3, p. 426-431, 2015.

BUSI, R. GAINES, T. A.; POWLES, S. Phorate can reverse P450 metabolism-based herbicide resistance in *Lolium rigidum*. **Pest Management Science**, v. 73, n. 2, p. 410-417, 2017.

BUSI, R. GAINES, T. A.; POWLES, S. Phorate can reverse P450 metabolism-based herbicide resistance in *Lolium rigidum*. **Pest Management Science**, v. 73, n. 2, p. 410-417, 2017.

CALSA Jr., T.; BENEDITO, V. A.; FIGUEIRA, A. V. O. Análise Serial da Expressão Gênica: Análise Serial da Expressão Gênica (SAGE) na Genômica de Plantas. **Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, n. 33, 2004.

CAMADRO, J. M.; MATRINGE, M.; SCALLA, R.; LABBE, P. Kinetic studies on protoporphyrinogen oxidase inhibition by diphenyl ether herbicides. **Biochemical Journal**, v. 277, p.17-21, 1991.

CARVALHO, S. J. P.; GONÇALVES NETTO, A. **Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da Protox (Grupo E)**. In: CHRISTOFFOLETI, P. J.; NICOLAI, M. Aspectos da resistência de plantas daninhas a herbicidas. 4 ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. 151-164 p.

CARVALHO, S. J. P.; OVEJERO, R. F. L. **Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da protox (Grupo E)**. In: CHRISTOFFOLETI, P. J.; OVEJERO, R. F. L.; NICOLAI, M.; VARGAS, L.; CARVALHO, S. J. P.; CATANEO, A. C.; CARVALHO, J. C.; MOREIRA, M. S. Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas. 3. ed. Piracicaba – SP: Associação Brasileira de Ação à Resistência de Plantas Daninhas, 2008. p. 9-31.

CARVALHO; S. J. P. OVEJERO, R. F. L. **Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da PROTOX (Grupo E)**. CHRISTOFFOLETI, P. J.; OVEJERO, R. F. L.; NICOLAI, M.; VARGAS, L.; CARVALHO, S. J. P.; CATANEO, A. C.; CARVALHO, J. C. e MOREIRA, M. S. Aspectos de Resistência de Plantas Daninhas a Herbicidas. 3. ed. Piracicaba – SP: Associação Brasileira de Ação à Resistência de Plantas Daninhas, 2008.

COBUCCI, T. MACHADO, E. Seletividade, eficiência de controle de plantas daninhas e persistência no solo de imazamox aplicado na cultura do feijoeiro. **Planta Daninha**, v. 17, n. 3, p. 419-432, 1999.

COLE, D. J.; EDWARDS, R. **Secondary metabolism of agrochemicals in plants**. In: ROBERT, T. R. Agrochemicals and Plant Protection. John Wiley & Sons, Chichester, UK, p. 107–154, 2000.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2016/17**. Brasília: Conab, 2017.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica de Área Plantada, Produtividade e Produção: safras 1976/77 à 2017/18**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 04 jan. 2018a.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica de Área Plantada, Produtividade e Produção por cultura: safras 1976/77 à 2017/18.** Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso: 04 jan. 2018b.

CONCENÇO, G.; COMIOTTO, A.; MORAES, D. M.; LOPES, N. F.; FERREIRA, L. B. Sulfentrazone e a qualidade fisiológica das sementes de girassol. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 1, p. 109-113, 2007.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

CUMMINS, I.; BRYANT, D. N.; EDWARDS, E. Safener responsiveness and multiple herbicide resistance in the weed black-grass (*Alopecurus myosuroides*). **Plant Biotechnology Journal**, v. 7, p. 807–820, 2009.

DALAZEN, G. **Expressão gênica associada à degradação de imazethapyr e efeito da temperatura e da concentração de CO₂ em capim-arroz.** 2016. 149 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016b.

DALAZEN, G.; MARKUS, C.; KASPARY, T.; PISONI, A.; GALLON, M.; QUEIROZ, A. R. S.; VIDAL, R. A.; MEROTTO JÚNIOR, A. Occurrence and importance of herbicide resistance caused by degradation enhancement for weed management. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 1, p. 26-38, 2016a.

DAYAN, F. E.; OWENS, D. K.; COMIANI, N.; SILVA, F. M. L.; WATSON, S. B.; HOWELL, J'L.; SHANER, D. L. Biochemical Markers and Enzyme Assays for Herbicide Mode of Action and Resistance Studies. **Weed Science**, v. 63, n. 1, p. 23-63, 2015.

DAYAN, F. E.; WEETE, J. D.; DUKE, S. O.; HANCOCK, H. G. Soybean (*Glycine max*) cultivar differences in response to sulfentrazone. **Weed Science**, v. 45, n. 5, p. 634–641, 1997.

DÉLYE, C. Unravelling the genetic bases of non-target-site-based resistance (NTSR) to herbicides: a major challenge for weed science in the forthcoming decade. **Pest Management Science**, v. 69, n. 2, p. 176-187, 2012.

DIESEL, F. D. **Persistência no solo, seletividade para espécies cultivadas e interação de saflufenacil com herbicidas causadores de estresse oxidativo.** 2013. 107 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

DIESEL, F.; TREZZI, M. M.; OLIVEIRA, P. H.; XAVIER, E.; PAZUCH, D.; PAGNONCELLI Jr, F. B. Tolerance of dry bean cultivars to saflufenacil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 4, p. 352-360, 2014.

DIESEL, F.; TREZZI, M. M.; OLIVEIRA, P. H.; XAVIER, E.; PAZUCH, D.; PAGNONCELLI, F. Jr. Tolerance of dry bean cultivars to saflufenacil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 4, p. 352-360, 2014.

EASTIN, E. F. Fate of fluorodifen in resistant peanut seedlings. **Weed Science**, v. 19, n. 2, p. 261–265, 1971.

EDWARDS, R.; DIXON, D. P. **The role of glutathione transferases in herbicides metabolism**. In: COBB, A. H.; KIRKWOOD, R. C. Herbicides and their mechanisms of action. Sheffield Academic Press, Sheffield, UK, p. 38–71, 2000.

ELSHIRE, R. J.; GLAUBITZ, J. C.; SUN, Q.; POLAND, J. A.; KAWAMOTO, K.; BUCKLER, E. S.; MITCHELL, S. E. A Robust, simple genotyping-by-sequencing (GBS) approach for high diversity species. **Plos One**, v. 6, n. 5, e19379, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. **Déficit hídrico nas áreas de produção de feijão das águas e da seca em goiás**. 1 ed. Santo Antônio do Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2017. 41 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. **Feijão na economia nacional**. Embrapa Arroz e Feijão: Santo Antônio de Goiás, 2002. 47 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. (2a ed.). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, Brasil. EMBRAPA-SPI. 2006. 306 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. (2ª ed.). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, Brasil. EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

FAO – Food and Agriculture Organization the United Nations. **FAOSTAT: Crops**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 13 jan. 2018.

FAUSEY, J. C.; RENNER, K. A. Physiological basis for CGA-248757 and flumiclorac selectivity in five plant species. **Weed Science**, v. 48, n. 4, p. 405-411, 2000.

FEIJÓ, A. R. **Saflufenacil: fisiologia da atividade herbicida e efeito de sua mistura com imidazolinonas na seletividade e no controle de plantas daninhas no arroz irrigado**. 2016. 70 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

FERREIRA, E. A.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; VENTRELLA, M. C.; BARBOSA, M. H. P.; PROCÓPIO, S. O.; REBELLO, V. P. A. Sensibilidade de cultivares de cana-de-açúcar à mistura trifloxysulfuron-sodium + ametryn. **Planta Daninha**, v. 23, n.1, p. 93-99, 2005.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes: Experimental Designs package R package version 1.1.1**. 2011. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/ExpDes.pt/ExpDes.pt.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2016.

FERREIRA, L. C.; CATANEO, A. C. Aspectos bioquímicos da ação de “safeners”. **Boletim informativo da SBCPD**. São Paulo: SBCPD, v. 8, n. 2, p. 5-6, 2001.

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 fev. 2017.

FONTES, J. R. A.; GONÇALVES, J. R. P.; MORAIS, R. R. Tolerância do feijão-caupi ao herbicida oxadiazon. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 1, p. 110-115, 2010.

FONTES, J. R. A.; OLIVEIRA, I. J.; GONÇALVES, J. R. P. Seletividade e eficácia de herbicidas para cultura do feijão-caupi. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 1, p. 47-55, 2013.

FRANS R.; TALBERT R.; MARX D.; CROWLEY H. **Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices**. In: CAMER N. D. Research Methods in Weed Science. Third Edition. Champaign: Southern Weed Science Society. 1986, p. 29-46.

FREAR, D. S.; SWANSON, H. R. Metabolism of substituted diphenyl ether herbicides in plants. I. Enzymatic cleavage of fluorodifen in peas (*Pisum sativum* L.). **Pesticide Biochemistry Physiology**, v. 3, n. 4, p. 473-482, 1973.

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

GALON, L.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, A. F.; REIS, M. R.; ASPIAZÚ, I.; FIALHO, C. M. T.; BARBOSA, M. H. P.; TIRONI, S. P. Tolerância de novos genótipos de cana-de-açúcar a herbicidas. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 329-338, 2010.

GALON, L.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A.; SILVA, A. F.; ASPIAZÚ, I.; CONCENÇO, G.; FIALHO, C. M. T.; SANTOS, E. A.; TIRONI, S. P.; BARBOSA, M. H. P. Seletividade de herbicidas a genótipos de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 27, n. esp., p.1083-1093, 2009.

GALON, L.; MACIEL, C. D. G.; AGOSTNETO, D.; CONCENÇO, G.; MORAES, P. V. D. Seletividade de herbicidas às culturas pelo uso de protetores químicos. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 3, p. 291-304, 2011.

GANNON, T. W.; HIXSON, A. C.; KELLER, K. E.; WEBER, J. B.; KNEZEVIC, S. Z.; YELVERTON, F. H. Soil properties influence saflufenacil phytotoxicity. **Weed Science**, v. 62, n. 4, p. 657-663, 2014.

GARCIA TORRES, L.; FERNANDEZ-QUINTANULLA, C. F. **Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas**. Madrid, Mundi-Prensa, 1991. 348 p.

GREY, T. L.; BRIDGES, D. C.; GARY HANCOCK, H.; DAVIS, J. W. Influence of sulfentrazone Rate and application method on peanut weed control. **Weed Technology**, v. 18, n. 3, p. 619-625, 2004.

GROSSMANN, K.; HUTZLER, J.; CASPAR, G.; KWIATKOWSKI, J.; BROMMER, C. L. Saflufenacil (KixorTM): biokinetic properties and mechanism of selectivity of a new protoporphyrinogen IX oxidase inhibiting herbicide. **Weed Science**, v. 59, n. 3, p. 290-298, 2011.

GROSSMANN, K.; HUTZLER, J.; CASPAR, G.; KWIATKOWSKI, J.; BROMMER, C. L. Saflufenacil (KixorTM): biokinetic properties and mechanism of selectivity of a new protoporphyrinogen IX oxidase inhibiting herbicide. **Weed Science**, v. 59, n. 3, p. 290-298, 2011.

HALL, L. M.; HOLTUM, J. A. M.; POWLES, S. B. **Mechanisms responsible for cross resistance and multiple resistance**. In: POWLES, S. B.; HOLTUM, J. A. M. Herbicide resistance in plants: biology and biochemistry. CRC Press, Boca Raton, FL, p. 243–261, 1994.

HACKER E., et al. Mefenpyr-diethyl: a safener for fenoxaprop-P-ethyl and iodosulfuron in cereals. **Journal of Plant Diseases and Protection**, p. 493–500, 2000.

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

HAO, G. F.; TAN, Y.; YU, N. X.; YANG, G. F. Structure–activity relationships of diphenyl-ether as protoporphyrinogen oxidase inhibitors: insights from computational simulations. **Journal of Computer-Aided Molecular Design**, v. 25, p. 213-222, 2011.

HAO, G. F.; ZUO, Y.; YANG, S. G.; CHEN, Q.; ZHANG, Y.; YIN, C. Y.; NIU, C. W.; XI, Z.; YANG, G. F. Computational discovery of potent and bioselective protoporphyrinogen IX oxidase inhibitor via fragment deconstruction analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 28, p. 5581-5588, 2017.

HAO, G. F.; ZUO, Y.; YANG, S. G.; YANG, G. F. Protoporphyrinogen oxidase inhibitor: an ideal target for herbicide discovery. **Chemistry in China**, v. 65, p. 961-969, 2011.

HARTWING, I.; BERTAN, I.; GALON, L.; NOLDIN, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, A. F.; ASPIAZU, I.; FERREIRA, E. A. Tolerância de trigo (*Triticum aestivum*) e aveia (*Avena* sp.) a herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS). **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 361-368, 2008.

HEKMAT, S.; SHROPSHIRE, C.; SOLTANI, N.; SIKKEMA, P. H. Responses of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to sulfentrazone. **Crop Protection**, v. 26, p. 525-529, 2007.

HEKMAT, S.; SHROPSHIRE, C.; SOLTANI, N.; SIKKEMA, P. H. Responses of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to sulfentrazone. **Crop Protection**, v. 26, p. 525-529, 2007.

HEKMAT, S.; SHROPSHIRE, C.; SOLTANI, N.; SIKKEMA, P. H. Responses of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to sulfentrazone. **Crop Protection**, v. 26, n. 4, p. 525-529, 2007.

HIGGINS, J. M.; WHITWELL, T.; CORBIN, F. T.; CARTER, G. E. Absorption, translocation, and metabolism of acifluorfen and lactofen in pitted morningglory (*Ipomoea lacunosa*) and ivyleaf morningglory (*Ipomoea hederacea*). **Weed Science**, v. 36, n. 2, p. 141-145, 1988.

HÖFER, R.; BOACHON, B.; RENAULT, H.; GAVIRA, C.; MIESCH, L.; IGLESIAS, J.; GINGLINGER, J. F.; ALLOUCHE, L.; MIESCH, M.; GREC, S.; LARBAT, R.; WERCKREICHHART, D. Dual Function of the cytochrome P450 CYP76 Family from *Arabidopsis thaliana* in the metabolism of monoterpenols and phenylurea herbicides. **Plant Physiology**, v. 166, p. 1149-1161, 2014.

HOFFMANN, R. Agricultura familiar produz 70% dos alimentos consumidos no Brasil? **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 21, n. 01, p. 417-421, 2014.

HRAC - Herbicide Resistance Action Committee. **Classification of Herbicides According to Site of Action**. 2018. Disponível em: <<http://www.weedscience.org/Documents/ShowDocuments.aspx?DocumentID=1193>>. Acesso em: 06 jan. 2018.

JUNG, H.; KUK, Y. Resistance mechanisms in protoporphyrinogen oxidase (PROTOX) inhibitor-resistant transgenic rice. **Journal of Plant Biology**, v. 50, n. 5, p. 586-594, 2007.

KEBEISH, R.; AZAB, E.; PETERHAENSEL, C.; EL-BASHEER, R. Engineering the metabolism of the phenylurea herbicide chlortoluron in genetically modified *Arabidopsis thaliana* plants expressing the mammalian cytochrome P450 enzyme CYP1A2. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, p. 8224-8232, 2014.

KISSMANN, K. G. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 2014. Disponível em: <http://www.hrac-br.com.br/wordpress/wp-content/uploads/2014/02/Texto_reisitencia_herbicidas1.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2016.

KOZLOWSKI, L. A.; RONZELLI JÚNIOR, P.; PURISSIMO, C.; DAROS, E.; KOEHLER, H.S. Critical period of weed interference in the common bean crop under direct seeding system. **Planta Daninha**, v. 20, n. 2, p. 213-220, 2002.

KRAUSZ, R. F.; YOUNG, B. G. Sulfentrazone enhances weed control of glyphosate in glyphosate-resistant soybean (*Glycine max*). **Weed Technology**, v. 17, n. 2, p. 249-255, 2003.

KREUZ, K. K.; TOMMASINI, R.; MARTINOIA, E. Old enzyme for a new job: herbicide detoxification in plants. **Plant Physiology**, v. 111, p. 349-353, 1996.

KUREK, A. J.; CARVALHO, F. I. F.; ASSMANN, I. C.; CRUZ, P. J. Capacidade combinatória como critério de eficiência na seleção de genitores em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 4, p. 645-651, 2001.

LEAH, J. M.; CASELEY, J. C.; RICHES, C. R.; VALVERDE, B. Age-related mechanisms of propanil tolerance in jungle-rice, *Echinochloa colona*. **Pesticide Science**, v. 43, n. 4, p. 347-354, 1995.

LEAH, J. M.; CASELEY, J. C.; RICHES, C. R.; VALVERDE, B. Age-related mechanisms of propanil tolerance in jungle-rice, *Echinochloa colona*. **Pesticide Science**, v. 43, n. 4, p. 347-354, 1995.

LI, X.; NICHOLL, D. Development of PPO inhibitor-resistant cultures and crops. **Pest Management Science**, v. 61, p. 277-285, 2005.

LI, Z.; WEHTJE, G. R.; WALKER, R. H. Physiological basis for the differential tolerance of Glycine max to sulfentrazone during seed germination. **Weed Science**, v. 48, n. 3. p. 281-285, 2000.

LI, Z.; WEHTJE, G. R.; WALKER, R. H. Physiological basis for the differential tolerance of *Glycine max* to sulfentrazone during seed germination. **Weed Science**, v. 48, n. 3. p. 281-285, 2000.

LIEBL, R., H. WALTER, S. J. BOWE, T. J. HOLT, AND D. E. WESTBERG. **BAS 800H: a new herbicide for preplant burndown and PRE dicot weed control**. Weed Science Society of America Conference. Lawrence, KS: Weed Science Society of America, 48:120. [Abstract].

LOVATO, F.; KOWALESKI, J.; SILVA, S. Z.; HELDT, L. F. S. Composição centesimal e conteúdo mineral de diferentes cultivares de feijão biorfortificado (*Phaseolus vulgaris* L.). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, e2017068, 2018.

MA, R.; KAUNDUN, S. S.; TRANEL, P. J.; RIGGINS, C. W.; MCGINNESS, D. L.; HAGER, A. G.; HAWKES, T.; MCINDOE, E.; RIECHERS, D. E. Distinct detoxification mechanisms confer resistance to mesotrione and atrazine in a population of waterhemp. **Plant Physiology**, v. 163, p. 363–377, 2013.

MACHADO, A. A.; CONCEIÇÃO, A. R. **WinStat: sistema de análise estatística para Windows**. Versão Beta. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2005. (Software).

MACHADO, A. A.; CONCEIÇÃO, A. R. **WinStat: sistema de análise estatística para Windows**. Versão Beta. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2005. (Software).

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Agrofit: Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. 2018. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 18 jan. 2018.

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Feijão**. 2016. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/> >. Acesso em: 20 jun. 2016.

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio: Brasil 2016/17 a 2026/27, projeções de longo prazo**. 8 ed. 2017. 125 p.

MAPA (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento). **Agrofit: Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. 2018. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 18 dez. 2018.

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; GUIMARÃES, T. G. **Herbicidas: mecanismos de ação e uso**. Embrapa Cerrados: Planaltina, 2008. 36 p.

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

MARTINS, T. Herbicida Paraquat: conceitos, modo de ação e doenças relacionadas. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 34, n. 2, p. 175-186, 2013.

MATOS, V. P.; SILVA, R. F.; VIEIRA, C.; SILVA, J. F. Período crítico de competição entre plantas daninhas e a cultura do feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 5, p. 737-743, 1991.

MATSUMOTO, H. KASHIMOTO, Y.; WARABI, E. Basis for common chickweed (*Stellaria media*) tolerance to oxifluorfen. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 64, p. 47-53, 1999.

MEROTTO Jr, A.; VIDAL, R. A. **Herbicidas inibidores de PROTOX**. In: VIDAL, R. R.; MEROTTO Jr, A. Herbicidologia. Porto Alegre: Evangraf, 2001. 152 p.

MEROTTO Jr., A.; VIDAL, R. A. **Herbicidas inibidores de PROTOX**. In: VIDAL, R. A.; MEROTTO Jr., A. Herbicidologia, Porto Alegre: Evangraf, p. 69-86, 2001.

METZKER, M. L. Sequencing technologies – the next generation. **Nature Reviews Genetics**, v. 11, p. 31–46, 2010.

MILLER, R. T.; SOLTANI, N.; ROBINSON, D. E.; KRAUS, T. E.; SIKKEMA, P. H. Soybean (*Glycine max*) cultivar tolerance to saflufenacil. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 92, p. 1319-1328, 2012.

MONQUERO, P. A.; SABBAG, R.; ORZARI, I.; HIJANO, N.; GALVANI FILHO, M.; DALLACOSTA, V.; KROLIKOWSKI, V.; SILVA HIRATA, A. C. Lixiviação de saflufenacil e residual após períodos de seca. **Planta Daninha**, v. 30, n. 2, p. 415-423, 2012.

O'KEEFE, D. P.; TEPPERMAN, J. M.; DEAN, C.; LETO, K. J.; ERBES, D. L.; ODELL, J. T. Plant expression of a bacterial cytochrome p450 that catalyzes

activation of a sulfonylurea pro-herbicide. **Plant Physiology**, v. 105, p. 473–482, 1994.

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

OLIVEIRA Jr, R. S. **Mecanismos de Ação de Herbicidas**. In: OLIVEIRA Jr, Rubem S.; CONSTANTIN, Jamil; INOUE, Miriam H. *Biologia e Manejo de Plantas Daninhas*. Curitiba – PR: Omnipax, 2011.

OLIVEIRA Jr, R. S; INOUE, M. H. **Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas**. In: OLIVEIRA Jr, Rubem S.; CONSTANTIN, Jamil; INOUE, Miriam H. *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba – PR: Omnipax, 2011.

OLIVEIRA Jr., R. S. de.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Omnipax, Curitiba, PR, 2011. 348 p.

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.

PAGNONCELLI JR., F. B. **Habilidade competitiva do feijoeiro e sua tolerância ao herbicida ethoxysulfuron**. 2016. 183 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

PATEL, F. **Eficiência agrônômica e persistência de herbicidas pré-emergentes na cultura da soja**. 2018. 157 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

PERSANS, M. W.; WANG, J.; SCHULER, M. A. Characterization of maize cytochrome P450 monooxygenases induced in response to safeners and bacterial pathogens. **Plant Physiology**, v. 125, n. 2, p.1126-1138, 2001.

PETIT, C.; DUHIEU, B.; BOUCANSAUD, K.; DÉLYE, C. Complex genetic control of non-target-site-based resistance to herbicides inhibiting acetylcoenzyme A carboxylase and acetolactate synthase in *Alopecurus myosuroides* Huds. **Plant Science**, v. 178, p. 501–509, 2010.

POWLES, S. B.; YU, Q. Evolution in action: plants resistant to herbicides. **Annual Review of Plant Biology**, v. 61, p. 317-347, 2010.

POZZOBON, A.; DAMETTO, A.; BLASI, E. A. R.; BUFFON, G.; SPEROTTO, R. A.; SILVA, R. Z.; WALDOW, V. A. **Análise de expressão gênica em nível de RNA**. In: SPEROTTO, R. A. *Protocolos e métodos de análise em laboratórios de biotecnologia agroalimentar e de saúde humana*. Lajeado: Editora da Univates, 2014. 329 p.

PRETTI, I. R. **Análise da expressão gênica e atividade enzimática antioxidante em *Passiflora edulis* SIMS sob diferentes concentrações de alumínio**. 2012. 77 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

RAMALHO, M. A.; SANTOS, J. B. Melhoria do feijão. **Informativo agropecuário**, v. 08, n. 90, 1992.

REY, J. M.; PUJOL, P.; CALLIER, P.; CAVAILLES, V.; FREISS, G.; MAUDELONDE, T.; BROUILLET, J. P. Semiquantitative reverse transcription-polymerase chain reaction to evaluate the expression patterns of genes involved in the oestrogen pathway. **Journal of Molecular Endocrinology**, n. 24, p. 433–440, 2000.

RIECHERS, D.E.; KREUZ, K., ZHANG, Q. Detoxification without intoxication: herbicide safeners activate plant defense gene expression. **Plant Physiology**, v. 153, p. 3-13, 2010.

RITTER, R. L.; COBLE, H. D. Penetration, translocation, and metabolism of acifluorfen in soybean (*Glycine max*), common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*), and common cocklebur (*Xanthium pensylvanicum*). **Weed Science**, v. 29, n. 4, p. 474-480, 1981.

RITTER, R. L.; COBLE, H. D. Penetration, translocation, and metabolism of acifluorfen in soybean (*Glycine max*), common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*), and common cocklebur (*Xanthium pensylvanicum*). **Weed Science**, v. 29, n. 4, p. 474-480, 1981.

RIZZARDI, M.A. et al. **Aspectos gerais do manejo e controle de plantas daninhas**. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Ed.). Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. p.107-131.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. Londrina, 2005. 591 p.

ROSENHAUER, M.; ROSINGER, C.; PETERSEN, J. Impact of the safener Mefenpyr-diethyl on herbicide resistance evolution in *Alopecurus myosuroides* (Huds.) biotypes. **Julius-Kühn-Arch.** v. 452, p. 50–56, 2016.

RStudio Team. **Integrated Development for R**. 2016. RStudio, Boston, MA. Disponível em: <<http://www.rstudio.com/>>. Acesso em: 19 out. 2016.

SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L. Botânica. In: VIEIRA, C.; PAULA JR, T. J.; BORÉM, A. (Ed). **Feijão**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2006. 41-65 p.

SCALLA, R.; MATRINGE, M. Inhibitors of protoporphyrinogen oxidase as herbicides: diphenyl ethers and related photobleaching molecules. **Weed Science**, v. 6, p.103–132, 1994.

SCHORR-LENZ, A. M.; BUSTAMANTE FILHO, I. C.; GUIMARÃES, J. A.; SANTI, L.; OLIVEIRA, M. B.; SEIBEL, P. M.; SILVA, W. O. B. **Análise de expressão gênica em nível de proteína**. In: SPEROTTO, R. A. Protocolos e métodos de análise em laboratórios de biotecnologia agroalimentar e de saúde humana. Lajeado: Editora da Univates, 2014. 329 p.

SCHRÖDER, S.; MAMIDI, S.; LEE, R.; MCKAIN, M. R.; MCCLEAN, P. E.; OSORNO, J. M. Optimization of genotyping by sequencing (GBS) data in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Molecular Breeding**, v. 36, n. 6, 2016.

SHIOTA, N.; NAGASAWA, A.; SAKAKI, T.; YABUSAKI, Y.; OHKAWA, H. Herbicide-resistant tobacco plants expressing the fused enzyme between rat cytochrome P4501A1 (CYP1 A1) and yeast NADPH-cytochrome P450 oxidoreductase. **Plant Physiology**, v. 106, n. 1, p. 17–23, 1994.

SIGMAPLOT - **Exact Graph for Exact Science**. Version 10.0, 2006.

SIKKEMA, P.; SHROPSHIRE, C.; SOLTANI, N. Response of dry bean to pre-plant incorporated and pre-emergence applications of s-metolachlor and fomesafen. **Crop Protection**, v. 28, n. 9, p. 744–748, 2009.

SILVA, D. V.; SANTOS, J. B.; SILVEIRA, H. M.; CARVALHO, F. P.; NETO, M. D. C.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A.; CECON, P. R. Tolerância de cultivares de mandioca aos herbicidas fomesafen e fluazifop-p-butil. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.10, n.3, p.219-231, 2011.

SILVA, H. T. **Descritores mínimos indicados para caracterizar cultivares/variedades de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Embrapa Arroz e Feijão: Santo Antônio de Goiás, 2005. 32 p.

SILVA, H. T.; COSTA, A. C. **Caracterização Botânica de Espécies Silvestres do Gênero *Phaseolus* L. (Leguminosae)**. Santo Antônio do Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 40 p.

SIMINSZKY, B. Plant cytochrome P450-mediated herbicide metabolism, **Phytochemistry Reviews**, v. 5, n. 2-3, p. 445-458, 2006.

SIMINSZKY, B.; CORBIN, F. T.; WARD, E. R.; FLEISCHMANN, T. J.; DEWEY, R. E. Expression of a soybean cytochrome P450 monooxygenase cDNA in yeast and tobacco enhances the metabolism of phenylurea herbicides. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 96, n. 4, p. 1750-1755, 1999.

SOLTANI, N.; BOWLEY, S.; SIKKEMA, P. H. Responses of Dry Beans to Flumioxazin. **Weed Technology**, v. 19, n. 2, p. 351-358, 2005.

SOLTANI, N.; BOWLEY, S.; SIKKEMA, P.H. Responses of dry beans to flumioxazin. **Weed Technology**, v. 19, n. 2, p. 351–358, 2005.

SOLTANI, N.; BOWLEY, S.; SIKKEMA, P.H. Responses of dry beans to sulfentrazone plus imazethapyr. **International Journal of Agronomy**, v. 2014, p.1–6, 2014.

SOLTANI, N.; SHROPSHIRE C.; SIKKEMA, P. H. Sensibility of leguminous crops to saflufenacil. **Weed Technology**, v. 24, n. 2, p. 143 –146, 2010.

SOLTANI, N.; SHROPSHIRE, C.; SIKKEMA, H. P. Response of corn to preemergence and postemergence applications of saflufenacil. **Weed Technology**, v. 23, n. 3, p. 331-334, 2009.

SOLTANI, N.; SHROPSHIRE, C.; SIKKEMA, H. P. Sensitivity of leguminous crops to saflufenacil. **Weed Technology**, v. 24, n. 2, p. 143-146, 2010.

SOLTANI, N.; SHROPSHIRE, C.; SIKKEMA, H. P. Sensitivity of leguminous crops to saflufenacil. **Weed Technology**, v. 24, n. 2, p. 143-146, 2010.

SOLTANI, N.; SHROPSHIRE, C.; SIKKEMA, P. Response of corn to preemergence and postemergence applications of saflufenacil. **Weed Technology**, v. 23, n. 3, p. 331-334, 2009.

SOLTANI, N.; SHROPSHIRE, C.; SIKKEMA, P. Sensitivity of dry bean to herbicides applied preplant for glyphosate-resistant horseweed control in a strip-tillage cropping system. **Weed Technology**, v. 33, n. 1, p. 178-184, 2018.

STÄHELIN, D.; GUIDOLIN, A. F.; COIMBRA, J. L. M.; VERISSIMO, M. A. A.; MORAIS, P. P. P.; ROCHA, F. Pré-melhoramento em feijão: perspectivas e utilização de germoplasma local no programa de melhoramento da UDESC. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 9, n. 2, p. 150-159, 2010.

SUMITOMO CHEMICAL DO BRASIL REPRESENTAÇÕES Ltda. **Sumisoya®**. 2018. Disponível em: <<http://www.adapar.pr.gov.br/arquivos/File/defis/DFI/Bulas/Herbicidas/SUMISOYA.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2018.

SYNGENTA PROTEÇÃO DE CULTIVOS Ltda. **Dual Gold®**. 2018. Disponível em: <https://www.syngenta.com.br/sites/g/files/zhg256/f/dual_gold_1.pdf?token=1511171921>. Acesso em: 18 jan. 2018.

SYNGENTA PROTEÇÃO DE CULTIVOS Ltda. **Flex®**. 2018. Disponível em: <<http://www.adapar.pr.gov.br/arquivos/File/defis/DFI/Bulas/Herbicidas/flexdez2016.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2018.

TAIZAR, A.N.; SOLANI, N.; SHROPSHIRE, C.; RODINSON, D. E.; LONG, M.; GILLARD, C.L.; SIKKEMA, P.H. Sulfentrazone tank mix for weed control in white bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Canadian Journal Plant Science**, v. 96, p. 1037-1044, 2016.

TOMLIN, C. D. S. **The pesticide manual: a world compendium**. 15th. ed. Croydon: British Crop Protection Council, 2011. 1457p.

TORRES, G. A. M.; CONSOLI, L. **Expressão gênica**. Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Online. 2016. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia35/AG01/arvore/AG01_69_811200715239.html>. Acesso em: 23 fev. 2016.

TORRES, L. G.; FERNADEZ-QUINTANILLA, C. **Herbicidas com actividad foliar y a través del suelo**. In: TORRES, L. G.; FERNADEZ-QUINTANILLA, C. Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas. Madrid: Mundi-presa, 1991. 348 p.

TORRES, S. ORTIZ, A. Mecanismos de resistência de paja rugosa (*Ischamum rugosum* Salisb.) al herbicida bispiribac-sodio em el cultivo de arroz. **Bioagro**, v. 29, n. 2, p. 95-104, 2017.

TREZZI, M. M.; NUNES, A. L.; PORTES, E. S.; Interação entre inseticida organofosforado e herbicidas inibidores da PROTOX e sua implicação na resistência de *Euphorbia heterophylla*. **Scientia Agrícola**, v. 10, n. 6, p. 423-428, 2009.

UNLAND, R. D.; AL-KHATIB, K.; PETERSON, D. E. Interactions between imazamox and diphenylethers. **Weed Science**, v. 47, p. 462-466, 1999.

VANSTONE, D. E.; STOBBE, E. H. Root uptake, translocation, and metabolism of nitrofluorfen and oxyfluorfen by fababeans (*Vicia faba*) and green foxtail (*Setaria viridis*). **Weed Science**, v. 26, n. 4, p. 389-392, 1978.

VARGAS, L.; FLECK, N. G. Seletividade de herbicidas do grupo químico dos ariloxifenoxipropionatos a cereais de inverno. **Planta Daninha**, v. 17, n. 1, p. 41-51, 1999.

VELINI, E. D.; MARTINS, D.; MANOEL, L. A.; MATSUOKA, S. ; TRAVAIN, J. C.; VARVALHO, J. C. Avaliação da seletividade da mistura de oxyflourfen e ametrina, aplicada em pré ou pós-emergência, a dez variedades de cana-de-açúcar (cana-planta). **Planta Daninha**, v. 18, n. 1, p.123-134, 2000.

VICTORIA FILHO, R. Manejo integrado de plantas daninhas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). In: SEMINÁRIO SOBRE PRAGAS, DOENÇAS E PLANTAS DANINHAS DO FEIJOEIRO, 5., 1994, Piracicaba, SP. **Anais**. Piracicaba: ESALQ, 1994. p.100-111.

VIDAL, R. A. **Ação dos herbicidas: absorção, translocação e metabolização**. Porto Alegre: Evangraf, 2002. 89 p.

VIDAL, R. A.; MEROTTO Jr, A. **Herbicidologia**. Porto Alegre: Evangraf, 2001. 152 p.

VIDAL, R. A.; MEROTTO Jr, A.; FLECK, N. G. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas de menor risco para desenvolver problemas. CURSO DE MANEJO E RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS AOS HERBICIDAS. Ponta Grossa, 2. ed., 1999. **Anais...** Ponta Grossa: AEACG, p. 68-72, 1999.

VIDAL, R. A.; MEROTTO JR, A.; SCHAEGLER, C. A.; LAMEGO, F. P.; PORTUGAL, J.; MENENDES, J.; KOZLOWSKI, L. A.; TREZZI, M. M.; DE PRADO, R. **Mecanismos de ação de herbicidas**. In: MONQUERO, P. Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas. Rima: São Carlos, p. 235-256, 2014.

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

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

WALSH, K. D.; SOLTANI, N.; HOOKER, D. C.; NURSE, R. E.; SIKKEMA, P. H. Biologically effective rate of sulfentrazone applied pre-emergence in soybean. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 95, n. 2015, p. 339-344, 2015.

WANG, H.; LI, J.; LV, B.; LOU, Y., DONG, L. The role of cytochrome P₄₅₀ monooxygenase in the different responses to fenoxaprop-P-ethyl in annual bluegrass (*Poa annua* L.) and short awned foxtail (*Alopecurus aequalis* Sobol.). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 107, p. 334–342, 2013.

WARABI, E.; USUI, K.; TANAKA, Y.; MATSUMOTO, H. Resistance of a soybean cell line to oxyfluorfen by overproduction of mitochondrial protoporphyrinogen oxidase. **Pest Management Science**, v. 57, n. 8, p. 743–748, 2001.

XAVIER, E. **Mecanismos de resistência e resposta aos herbicidas inibidores da ALS e da PROTOX em *Euphorbia heterophylla* L.** 2014. 211 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

XAVIER, E. **Mecanismo de tolerância a herbicidas inibidores da als em cultivares de aveia branca (*Avena sativa* L.)**. 2018. 184 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

XIANG, W.; WANG, X.; REN, T. Expression of a wheat cytochrome P450 monooxygenase cDNA in yeast catalyzes the metabolism of sulfonylurea herbicides. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 85, n. 1, p. 1-6, 2006.

YAO, X.; WANG, Y.; YUE, X.; LIU, M.; LIU, K. Generation of tribenuron-methyl herbicide-resistant OsCYP81A6-expressing rapeseed (*Brassica napus* L.) plants for hybrid seed production using chemical-induced male sterility. **Plant Breeding**, v. 135, p. 349–354, 2016.

YASUOR, H.; OSUNA, M. D.; ORTIZ, A.; SALDAIN, N. E.; ECKERT, J. W.; FISHER A. Mechanism of resistance to penoxsulam in late watergrass (*Echinochloa phyllopogon* (Stapf) Koss). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, p. 3653–3660, 2009.

YU, Q.; POWLES, S. Metabolism-base herbicide resistance and cross-resistance in crop weeds: a threat to herbicide sustainability and global crop production. **Plant Physiology**, v. 166, p. 1106-1118, 2014a.

YU, Q.; POWLES, S. B. Resistance to AHAS inhibitor herbicides: current understanding. **Pest Management Science**, v. 70, n. 9, p. 1340-1350, 2014b.

ZHANG, L., Q.; LU, H. G.; CHEN, G.; PAN, S. S.; XIAO, Y. T.; DAI, Q.; LI, J. W.; ZHANG, X. Z.; WU, J. S.; WU, J. M.; TU, J.; LIU, K. Identification of a cytochrome P450 hydroxylase, CYP81A6, as the candidate for the bentazon and sulfonylurea herbicide resistance gene, Bel, in rice. **Molecular Breeding**, v. 19, p. 59-68, 2007.

ZHANG, Q.; XU, F. X.; LAMBERT, K. N.; RIECHERS, D. E. Safeners co-ordinately induce the expression of multiple proteins and MRP transcripts involved in herbicide metabolism and detoxification in *Triticum tauschii* seedling tissues. **Proteomics**, n. 7, p. 1261–1278, 2007.

ZHANG, Q.; XU, F. X.; LAMBERT, K. N.; RIECHERS, D. E. Safeners co-ordinately induce the expression of multiple proteins and MRP transcripts involved in herbicide metabolism and detoxification in *Triticum tauschii* seedling tissues. **Proteomics**, n. 7, p. 1261–1278, 2007.