

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

**MATHEUS VIECELLI**

**TOLERÂNCIA DE GENÓTIPOS BRASILEIROS DE FEIJÃO A  
SULFENTRAZONE**

**DISSERTAÇÃO**

**PATO BRANCO**

**2021**

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

**MATHEUS VIECELLI**

**TOLERÂNCIA DE GENÓTIPOS BRASILEIROS DE FEIJÃO A  
SULFENTRAZONE**

**DISSERTAÇÃO**

**PATO BRANCO**

**2021**

MATHEUS VIECELLI

**TOLERÂNCIA DE GENÓTIPOS BRASILEIROS DE FEIJÃO A  
SULFENTRAZONE**

**Tolerance of Brazilian dry bean genotypes to sulfentrazone**

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

Orientador: Prof. Dr. Michelangelo Muzell Trezzi

PATO BRANCO

2021



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

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Pato Branco



MATHEUS VIECELLI

### TOLERÂNCIA DE GENÓTIPOS BRASILEIROS DE FEIJÓEIRO AO SULFENTRAZONE

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

Data de aprovação: 16 de Março de 2021

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

Prof Fortunato De Bortoli Pagnoncelli Junior, Doutorado - Autônomo

Prof Leandro Galon, Doutorado - Universidade Federal da Fronteira Sul (Uffs)

Prof Luiz Alberto Kozlowski, Doutorado - Universidade Federal do Paraná (Ufpr)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 16/03/2021.

DEDICO:

Aos meus pais, Ismael Viecelli e Nelsi Magnabosco Viecelli.

As minhas irmãs Andressa Viecelli e Eloize Viecelli.

Aos meus avós paternos Amantino João Viecelli e Maria Brusamarello.

Aos meus avós maternos Lourenço Magnabosco e Nelsa Josefina Dallastra Magnabosco.

A Bruna Mandryk Cavalheiro e Arlete Mandryk.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida.

Agradeço a meus pais, Ismael e Nelsi Viecelli, que são minha base, me apoiando incondicionalmente.

A minha companheira Bruna Mandryk Cavalheiro, por todo amor e carinho, por ser diariamente minha confidente, amiga e parceira, demonstrando que muitas vezes a distância é apenas um número.

Ao meu orientador, Michelangelo Muzell Trezzi, pela amizade e total apoio. Por repassar seus ensinamentos durante o período de graduação, pós-graduação e pelo seu exemplo como profissional, os meus mais sinceros agradecimentos.

De modo especial aos colegas de pós-graduação, Katia Cristina Dalpiva Hartmann, Fortunato De Bortoli Pagnoncelli Junior, Helis Marina Salomão, Daiani Brandler, Patrícia Bortolanza Pereira e Maiara Pinheiro, pela amizade, convívio e por toda a ajuda.

Agradeço aos demais colegas do grupo NIPED, Victor Matheus da Luz Bohn, Matheus Patel, Eduardo Sandrin, Raul Zucolo Irion, Marlon Mosquem, José Carlos Holub Junior, Eduardo Rozin Ticiani, Alisson Ricardo Schmoller e Junior Rissardi que auxiliaram na condução dos experimentos.

Ao técnico agrícola da área experimental Felipe Candiotta e ao servidor Jackson Michaelson, pela amizade e companhia na área experimental durante os dois últimos anos, além do apoio na condução de todos os ensaios.

Aos doutores Fortunatto De Bortoli Pagnoncelli Junior, Leandro Galon e Luiz Alberto Kozlowski pelo aceite como membros examinadores da banca desta dissertação.

Agradeço a CAPES, visto que o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos os professores e demais servidores da UTFPR Câmpus Pato Branco, que propiciam a milhares de alunos a oportunidade de obterem conhecimento e realizarem seus sonhos.

A todos que torceram por mim e de alguma maneira contribuíram durante esse período, meus sinceros agradecimentos.

“You have brains in your head. You have feet in your shoes. You can steer yourself in any direction you choose. You’re on your own. And you know what you know. You are the guy who’ll decide where to go.” - **Dr. Seuss**

## RESUMO

VIECELLI, Matheus. Tolerância de genótipos brasileiros de feijão a sulfentrazone. 122 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

Na cultura do feijoeiro, são limitadas as opções de manejo químico em pré-emergência para plantas daninhas de folhas largas. Há pouca informação sobre a tolerância de genótipos brasileiros de feijão ao herbicida sulfentrazone e de características dos genótipos que estejam associadas à tolerância. Foram realizados cinco estudos investigando a tolerância de genótipos brasileiros de feijão ao herbicida sulfentrazone e possíveis mecanismos envolvidos com a tolerância. O estudo 3 foi efetuado a campo e os demais em ambiente de casa-de-vegetação ou laboratório. No estudo 1 foram caracterizados 40 genótipos brasileiros de feijão (*Phaseolus vulgaris* e *Vigna* spp.) quanto a tolerância de sulfentrazone (400 g i.a. ha<sup>-1</sup>). No Estudo 2 foi realizada curva dose-resposta de sulfentrazone (0, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1000 g i.a. ha<sup>-1</sup>) avaliando diferentes níveis de tolerância entre oito genótipos. No Estudo 3, foi investigando a tolerância de diferentes classes comerciais de feijão a sulfentrazone (400 g i.a. ha<sup>-1</sup>). No Estudo 4 foi determinada a atividade de enzimas antioxidantes (superóxido dismutase, catalase e peroxidase) em genótipos de feijão e sua relação com a tolerância com sulfentrazone. No Estudo 5 avaliou-se a resposta de genótipos de feijão à associação de sulfentrazone com inibidores da metabolização (inseticidas organofosforados). No Estudo 1, foi constatada grande variação de tolerância dos genótipos de feijão ao herbicida sulfentrazone. Níveis de tolerância mais elevados estiveram relacionados com maior tamanho de semente de feijão-comum, centro de origem andina e predominantemente classes comerciais carioca e especial. Genótipos *Vigna* spp. não seguiram o mesmo padrão de tolerância que os genótipos de feijoeiro-comum, sendo caupi tolerante, adzuki altamente sensível e mungo intermediário. No Estudo 2, de modo geral doses superiores a 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone causaram reduções acima de 50% de tolerância relativa, altura, área foliar e massa da parte aérea seca, enquanto que doses entre 100 a 200 g i.a. ha<sup>-1</sup> causaram reduções de aproximadamente 10%. Os fatores de tolerância evidenciaram que os genótipos Bico de Ouro e Pérola foram capazes de suportar doses de sulfentrazone até três vezes maiores do que o genótipo mais sensível (IPR Uirapuru). Considerando as classes comerciais de feijão, os níveis de tolerância observados foram: caupi > carioca > especial > mungo > preto. No Estudo 3, à campo, foi possível ordenar de forma decrescente a tolerância ao sulfentrazone (400 g i.a. ha<sup>-1</sup>) entre classes de feijão: caupi > mungo > carioca > especial > preto, logo, houve variações em relação ao Estudo 2. Mesmo com injúria expressiva e reduções de estande final de 17% e 10% das classes especial e preto, não foi observada redução de produtividade. O feijão caupi, mungo e carioca demonstraram boa margem de segurança para 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone. Os resultados relacionados aos mecanismos de tolerância (Estudos 4 e 5) indicaram que a metabolização é o principal mecanismo de tolerância dos genótipos a sulfentrazone, enquanto que os diferentes níveis de tolerância estiveram mais relacionados a atividade das enzimas antioxidantes.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L. *Vigna* spp. Herbicidas inibidores da PROTOX. Classes comerciais. Metabolização. Enzimas antioxidantes.

## ABSTRACT

VIECELLI, Matheus. Tolerance of Brazilian dry bean genotypes to sulfentrazone. 136 f. Dissertation (Masters in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Crop), Federal University of Technology - Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

In the bean crop there are limited options of herbicides to control eudicotyledons weeds in pre-emergence. There is little information on the tolerance of Brazilian dry bean genotypes to the herbicide sulfentrazone and the relationship between genotype characteristics and tolerance. Five studies were carried out investigating the tolerance of Brazilian dry bean genotypes to the sulfentrazone herbicide and possible mechanisms involved with tolerance. Study 3 was carried out in the field and the others in a greenhouse or laboratory conditions. In Study 1, 40 Brazilian dry bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* and *Vigna* spp.) were characterized for sulfentrazone tolerance (400 g i.a. ha<sup>-1</sup>). In Study 2, a sulfentrazone dose-response curve (0, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1000 g i.a. ha<sup>-1</sup>) was used to evaluate the different levels of tolerance among genotypes. In Study 3, it was investigated the tolerance of different Brazilian market classes of beans to sulfentrazone (400 g a.i. ha<sup>-1</sup>). In Study 4, the activity of antioxidant enzymes (superoxide dismutase, catalase and peroxidase) in dry bean genotypes was determined and their relationship with sulfentrazone tolerance. In Study 5, it was assessed the response of bean genotypes to the association of sulfentrazone with metabolism inhibitors (organophosphate insecticides). In Study 1, a large tolerance variation of the genotypes to sulfentrazone was observed. Higher tolerance levels were related to larger seed size, center of Andean origin and predominantly the carioca and special market classes. *Vigna* spp. genotypes did not follow the same tolerance pattern as common bean genotypes, since cowpea was tolerant, the adzuki was highly sensitive and intermediate mung bean. In Study 2, doses higher than 400 g a.i. ha<sup>-1</sup> of sulfentrazone caused decreases above 50% in relative tolerance, height, leaf area and shoot dry matter, while doses between 100 and 200 g a.i. ha<sup>-1</sup> caused reductions of nearly 10%. The obtaining of the tolerance factor presented that the Bico de Ouro and Pérola genotypes are capable of resisting doses of sulfentrazone up to three times higher than the most sensitive genotype (IPR Uirapuru). Considering the large commercial classes of beans, the levels of tolerance observed were: cowpea > carioca > special > mung > black. In Study 3, in the field conditions, it was possible to order the tolerance to sulfentrazone (400 g a.i. ha<sup>-1</sup>) in decreasing order among bean classes: cowpea > mung > carioca > special > black, so there were variations in relation to Study 2. Even detecting significant injury and reductions in the plant final density of 17% and 10% for the special and black classes, there were no reduction in yield. Cowpea, mung and carioca beans exhibited a potential safety margin for 400 g a.i. ha<sup>-1</sup> of sulfentrazone. The results related to the mechanisms of tolerance (Studies 4 and 5) indicate that metabolism is the main mechanism of tolerance of the genotypes to sulfentrazone, while the different levels of tolerance observed were more related to the activity of antioxidant enzymes.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris* L. *Vigna* spp. PPO inhibitor herbicides. Market classes. Metabolization. Antioxidant enzymes.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Precipitação pluviométrica, temperatura média, máxima e mínima durante o período de condução dos experimentos na safra 2019/2020 (A) e 2020/2021 (B). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2021. Fonte: IAPAR.....27
- Figura 2** – Análise de componentes principais de acordo com o centro de origem (A), grande classe comercial (B), classes comerciais (C) e tamanho de semente de 40 genótipos brasileiros de feijão submetidos à aplicação de sulfentrazone. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2019.....47
- Figura 3** – Resposta dos genótipos Pérola, BRS esteio e IPR Uirapuru à aplicação em pré-emergência de sulfentrazone (400 g i.a. ha<sup>-1</sup>) aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2019.....54
- Figura 4** – Tolerância relativa (%) de genótipos de feijão submetidos a aplicação de sulfentrazone aos 14 (A) e 28 (B) dias após a aplicação do herbicida. A posição dos símbolos representa a média de cada genótipo e as barras correspondem ao erro padrão da média. Os parâmetros das equações estão descritos na **Tabela 12**. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....55
- Figura 5** – Altura (cm) de genótipos de feijão submetidos a aplicação de sulfentrazone aos 14 (A) e 28 (B) dias após a aplicação do herbicida. A posição dos símbolos representa a média de cada genótipo e as barras correspondem ao erro padrão da média. Os parâmetros das equações estão descritos na **Tabela 13**. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....57
- Figura 6** – Área foliar (cm<sup>2</sup> pl<sup>-1</sup>) (A) e massa da parte aérea seca (g pl<sup>-1</sup>) (B) de genótipos de feijão submetidos a aplicação de sulfentrazone. A posição dos símbolos representa a média de cada genótipo e as barras correspondem ao erro padrão da média. Os parâmetros das equações estão descritos na **Tabela 14**. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....59
- Figura 7** – Boxplot das doses necessárias de sulfentrazone para reduzir 50% (A) e 10% (B) da tolerância relativa (TR aos 14 e 28 DAA), altura (ALT aos 14 e 28 DAA), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) de classes comerciais de feijão. O ponto preto representa a média geométrica dos genótipos. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....62
- Figura 8** – Resposta de genótipos de feijão à aplicação em pré-emergência de sulfentrazone (0, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1000 g i.a. ha<sup>-1</sup>) aos 7, 14 e 21 e 28 dias após a aplicação (DAA). <sup>C/</sup> Carioca, <sup>P/</sup> Preto, <sup>E/</sup> Especial, <sup>CP/</sup> Caupi (*Vigna unguiculata*) e <sup>M/</sup> Mungo (*Vigna radiata*). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....63
- Figura 9** – Correlação de Pearson entre rendimento de grãos (RG) e estande final de plantas (ESTF) (A), ESTF e tolerância relativa TR (B), RG e TR (C), ESTF e número de ramos por planta (NRP) (D), RG e NRP (E), ESTF e NVP (F), RG e NVP (G). \*Significativo ( $p \leq 0,05$ ), \*\* significativo ( $p \leq 0,01$ ), \*\*\* significativo ( $p \leq 0,001$ ), <sup>ns</sup> não significativo ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste t. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2021.....74
- Figura 10** – Tolerância relativa (TR) dos genótipos de feijão submetidos a aplicação pós-emergente de sulfentrazone (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>), aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si dentro de cada data de avaliação, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). UTFPR.

- Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....75
- Figura 11** – Altura (ALT) dos genótipos de feijão submetidos a aplicação pós-emergente de sulfentrazone (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>), 7 (A), 14 (B) e 21 (C) dias após a aplicação (DAA) de sulfentrazone. Letras maiúsculas comparam médias com e sem herbicida, enquanto que letras minúsculas comparam genótipos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....76
- Figura 12** – Área foliar (A) e massa seca da parte aérea (B) dos genótipos de feijão submetidos a aplicação pós-emergente de sulfentrazone (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>). Na Figura B, letras maiúsculas comparam médias com e sem herbicida dentro do mesmo genótipo, enquanto que letras minúsculas comparam genótipos com ou sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....77
- Figura 13** – Clorofila a (A), clorofila b (B) e conteúdo de clorofila total (C) dos genótipos de feijão submetidos a aplicação pós-emergente de sulfentrazone (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>). Letras maiúsculas comparam médias com e sem herbicida dentro do mesmo genótipo, enquanto que letras minúsculas comparam genótipos com ou sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....78
- Figura 14** – Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) as 24 (A) e 48 (B) horas após a aplicação (HAA) de sulfentrazone em pós-emergência (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>) em genótipos de feijão. Letras maiúsculas comparam médias com e sem herbicida dentro do mesmo genótipo, enquanto que letras minúsculas comparam genótipos com ou sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....80
- Figura 15** – Atividade da catalase (CAT) em genótipos de feijão as 24 (A) e 48 (B) horas após a aplicação após a aplicação (HAA) de sulfentrazone em pós-emergência (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>) em genótipos de feijão. Letras maiúsculas comparam médias com e sem herbicida dentro do mesmo genótipo, enquanto que letras minúsculas comparam genótipos com ou sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....81
- Figura 16** – Atividade da peroxidase (POD) em genótipos de feijão as 24 (A) e 48 (B) horas após a aplicação após a aplicação (HAA) de sulfentrazone em pós-emergência (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>) em genótipos de feijão. Na Figura A genótipos seguidos pela mesma letra minúscula não diferiram estatisticamente. Na Figura B, letras maiúsculas comparam médias com e sem herbicida dentro do mesmo genótipo, enquanto que letras minúsculas comparam genótipos com ou sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....82
- Figura 17** – Tolerância relativa (TR) dos genótipos de feijão submetidos a aplicação pós-emergente de sulfentrazone (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>) associado ou não a inibidores da metabolização (1000 g i.a. ha<sup>-1</sup> de malathion + 1125 g i.a. ha<sup>-1</sup> de chlorpyrifos) aos 7 (A), 14 (B) e 21 (C) dias após a aplicação (DAA). Letras maiúsculas comparam médias do genótipo na testemunha, tratamento com sulfentrazone e sulfentrazone + inibidores, enquanto que

letras minúsculas comparam genótipos para cada tratamento (testemunha, sulfentrazone e sulfentrazone + inibidores). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....85

**Figura 18** – Massa seca da parte aérea (MSPA) dos genótipos de feijão submetidos a aplicação pós-emergente de sulfentrazone (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>) associado ou não a inibidores da metabolização (1000 g i.a. ha<sup>-1</sup> de malathion + 1125 g i.a. ha<sup>-1</sup> de chlorpyrifos) aos 21 dias após a aplicação (DAA). Letras maiúsculas comparam médias do genótipo na testemunha, tratamento com sulfentrazone e sulfentrazone + inibidores, enquanto que letras minúsculas comparam genótipos para cada tratamento (testemunha, sulfentrazone e sulfentrazone + inibidores). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....87

**Figura 19** – Resposta dos genótipos de feijão submetidos a aplicação pós-emergente de sulfentrazone (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>) associado ou não a inibidores da metabolização (malathion e chlorpyrifos) aos e 21 dias após a aplicação (DAA). <sup>C/</sup> Carioca, <sup>P/</sup> Preto, <sup>E/</sup> Especial, <sup>CP/</sup> Caupi (*Vigna unguiculata*) e <sup>M/</sup> Mungo (*Vigna radiata*). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....89

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Nome do genótipo, centro de origem, grande classe comercial, classe comercial, e tamanho da semente. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2019.....21
- Tabela 2** – Características químicas e composição textural do Latossolo Vermelho Distroférrico. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2019.....22
- Tabela 3** – Genótipo, espécie, classe comercial e nível de tolerância. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....25
- Tabela 4** – Características químicas e composição textural do Latossolo Vermelho Distroférrico. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....25
- Tabela 5** – Características químicas e composição textural do Latossolo Vermelho Distroférrico em que foram conduzidos os experimentos na safra 2019/2020 e 2020/2021. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2021.....28
- Tabela 6** – Características químicas e composição textural do Latossolo Vermelho Distroférrico. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....33
- Tabela 7** – Características químicas e composição textural do Latossolo Vermelho Distroférrico. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....36
- Tabela 8** – Tolerância relativa (TR), altura (ALT), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) de 40 genótipos brasileiros de feijão submetidos (S) ou não (T) à aplicação de sulfentrazone. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2019.....38
- Tabela 9** – Taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> ( $A_N$ ), Concentração interna de CO<sub>2</sub> foliar ( $C_i$ ) e eficiência instantânea da carboxilação (E<sub>C</sub>) de 40 genótipos brasileiros de feijão submetidos à aplicação de sulfentrazone. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2019.....42
- Tabela 10** – Taxa transpiratória (E), condutância estomática ( $g_s$ ) e conteúdo de clorofila total (CCT) de 40 genótipos brasileiros de feijão submetidos à aplicação de sulfentrazone. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2019.....45
- Tabela 11** – Índice de tolerância ao herbicida (ITH) e índice de sensibilidade ao herbicida (ISH) de 40 genótipos brasileiros de feijão submetidos à aplicação de sulfentrazone. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2019...53
- Tabela 12** – Parâmetros da equação, dose necessária para proporcionar 10% de redução da TR ( $LD_{10}$ ), coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ) e raiz do quadrado médio do erro (RQME) para a variável massa da parte aérea seca (MPAS) (%) aos 14 e 28 dias após a aplicação de sulfentrazone em oito genótipos de feijão. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....56
- Tabela 13** – Parâmetros da equação, dose necessária para proporcionar 10% de redução da ALT ( $ALT_{10}$ ), coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ) e raiz do quadrado médio do erro (RQME) para a variável altura (ALT) aos 14 e 28 dias após a aplicação de sulfentrazone em oito genótipos de feijão. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....58
- Tabela 14** – Parâmetros da equação, dose necessária para proporcionar 10% de redução de AF ( $AF_{10}$ ) e MSPA ( $GR_{10}$ ), coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ) e raiz do quadrado médio do erro (RQME) para as variáveis área foliar e massa da parte aérea seca (MPAS), aos 28 dias após a aplicação de sulfentrazone em oito genótipos de feijão. UTFPR. Câmpus



4.0 Internacional

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

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

	Pato Branco-PR. 2020.....	60
<b>Tabela 15</b>	– Fatores de tolerância ( <i>FT</i> ) para as variáveis TR ( <i>FT – LD<sub>50</sub></i> e <i>FT – LD<sub>20</sub></i> ) e MSPA ( <i>FT – GR<sub>50</sub></i> e <i>FT – GR<sub>10</sub></i> ) aos 28 dias após a aplicação de sulfentrazone em oito genótipos de feijão. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.....	61
<b>Tabela 16</b>	– Valores médios dos efeitos principais e interação das variáveis tolerância relativa (TR), altura (ALT), estande de plantas (EST), conteúdo de clorofila total (CCT), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) de diferentes classes comerciais de feijão submetidos a aplicação de 400 g i.a. ha <sup>-1</sup> de sulfentrazone em pré-emergência, na localidade de Pato Branco, em 2019 e 2020. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2021.....	65
<b>Tabela 17</b>	– Tolerância relativa (TR), altura (ALT) aos 14 e 28 dias após a aplicação (DAA), estande de plantas (EST) aos 28 DAA de diferentes classes comerciais de feijão submetidos a aplicação de 400 g i.a. ha <sup>-1</sup> de sulfentrazone em pré-emergência, na localidade de Pato Branco, em 2019 e 2020. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2021.....	66
<b>Tabela 18</b>	– Valores médios dos efeitos principais e interação das variáveis estande final (ESTF), altura final (ALTF), diâmetro do colmo (DMC), número de ramos por planta (NRP), número de vagens por planta (NVP) massa de mil grãos (MMG), umidade de grãos (UMG) e rendimento de grãos (RG) de diferentes classes comerciais de feijão submetidos a aplicação de 400 g i.a. ha <sup>-1</sup> de sulfentrazone em pré-emergência, na localidade de Pato Branco, em 2019 e 2020. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2021.....	69
<b>Tabela 19</b>	– Estande final de plantas (ESTF) e umidade de grãos (UMG) de diferentes classes comerciais de feijão submetidos a aplicação de 400 g i.a. ha <sup>-1</sup> de sulfentrazone em pré-emergência, na localidade de Pato Branco, em 2019 e 2020. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2021.....	70

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

AGROFIT	Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários
CIAT	Centro Internacional para Agricultura Tropical ( <i>International Center for Tropical Agriculture</i> )
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
NE	Unidade da Federação (Estados Unidos da América) – Nebraska
PB	Município – Pato Branco
PR	Unidade da Federação – Paraná
UK	Reino Unido ( <i>United Kingdom</i> )
USA	Estados Unidos da América ( <i>United States of America</i> )
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná



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

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

'	Minuto
"	Segundo
%	Percentual
®	Marca registrada
$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Micro mol por metro quadrado por segundo
ACP	Análise de Componentes Principais
AF	Área foliar
ALT	Altura
$A_N$	Taxa de assimilação líquida de $\text{CO}_2$
CaCl	Cloreto de cálcio
CAT	Catalase
CCT	Conteúdo de clorofila total
$C_i$	Concentração interna de $\text{CO}_2$
cm	Centímetros
$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	Centimol de carga por decímetro cúbico
$\text{CO}_2$	Dióxido de carbono
$\text{CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Dióxido de carbono por metro quadrado por segundo
$\text{CO}_2 \text{mol}^{-1}$	Dióxido de carbono por ml
CTC	Capacidade de troca de cátions
CV	Coefficiente de variação
DAA	Dias após a aplicação
$\text{dm}^3$	Decímetro cúbico
$E$	Taxa transpiratória
$E_iC$	Eficiência instantânea de carboxilação
$\text{g dm}^{-3}$	Gramas por decímetro cúbico
$\text{g i.a. ha}^{-1}$	Gramas de ingrediente ativo por hectare
GMT-3	Tempo médio de Greenwich ( <i>Greenwich Mean Time</i> )
$g_s$	Condutância estomática
H+Al	Hidrogênio + Alumínio
IRGA	Analisador de gás no infravermelho ( <i>Infra-red gas analyzer</i> )
ISH	Índice de sensibilidade ao herbicida
ITH	Índice de tolerância ao herbicida
K	Potássio
$\text{K}_2\text{O}$	Óxido de potássio
KCl	Cloreto de potássio
$\text{km h}^{-1}$	Quilômetros por hora
kPa	Quilo pascal
L	Litro
$\text{L ha}^{-1}$	Litro por hectare
$\text{mg dm}^{-3}$	Miligramas por decímetro cúbico
$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Mil mol de água por metro quadrado por segundo
MO	Matéria orgânica
$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Mol de água por metro quadrado por segunda
$\text{mol L}^{-1}$	Mol por litro
MSPA	Massa seca da parte aérea
°	Graus

°C	Graus Celsius
<i>p</i>	Probabilidade
p/v	Peso por volume
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pentóxido de difósforo
P450	Citocromo P450
pH	Potencial hidrogeniônico
pl <sup>-1</sup>	Por planta
POD	Peroxidase
PROTOX	Protoporfirinogênio oxidase
Q1	Quadrante 1
Q2	Quadrante 2
Q3	Quadrante 3
Q4	Quadrante 4
RFA	Radiação fotossinteticamente ativa
S	Sul ( <i>South</i> )
S/A	Sociedade anônima
SOD	Superóxido dismutase
spp.	Espécies
TR	Tolerância relativa
UE	Unidade experimental
W	Oeste ( <i>West</i> )

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>6</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>9</b>
2.1 Objetivo geral .....	9
2.2 Objetivos específicos .....	9
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>10</b>
2.1 Importância do feijoeiro no Brasil .....	10
2.2 Influência de plantas daninhas no feijoeiro e uso de herbicidas na cultura .....	11
2.3 Sulfentrazone e seu potencial de uso no feijoeiro .....	13
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
3.1 CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DE FEIJOEIROS BRASILEIROS RELACIONADAS A TOLERÂNCIA AO HERBICIDA SULFENTRAZONE .....	20
3.1.1 Parâmetros fisiológicos .....	22
3.1.2 Tolerância relativa e parâmetros morfológicos .....	22
3.1.3 Índice de Tolerância e Sensibilidade ao Herbicida .....	23
3.1.4 Análise estatística .....	23
3.2 CURVA DOSE-RESPOSTA DE SULFENTRAZONE EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO .....	24
3.3 RESPOSTA DE DIFERENTES CLASSES COMERCIAIS DE FEIJÃO A SULFENTRAZONE .....	27
3.3.1 Avaliações iniciais .....	29
3.3.2 Avaliações finais .....	30
3.3.3 Análise estatística .....	31
3.4 ATIVIDADE DE ENZIMAS DO SISTEMA ANTIOXIDANTES EM GENÓTIPOS DE FEIJOEIRO E SUA RELAÇÃO COM A TOLERÂNCIA A SULFENTRAZONE. .....	32
3.4.1 Tolerância relativa, parâmetros morfológicos e conteúdo de clorofila .....	33
3.4.2 Atividade enzimática .....	33
3.4.3 Análise estatística .....	35
3.5 RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO À ASSOCIAÇÃO DE SULFENTRAZONE E INIBIDORES DA METABOLIZAÇÃO .....	35
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>37</b>
4.1 CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DE FEIJOEIROS BRASILEIROS RELACIONADAS A TOLERÂNCIA AO HERBICIDA SULFENTRAZONE .....	37
4.1.1 Tolerância Relativa e Parâmetros Morfológicos .....	37
4.1.2 Parâmetros Fisiológicos .....	41
4.1.3 Análise de componentes principais .....	46
4.1.4 Índice de tolerância e sensibilidade ao herbicida .....	52

4.2 CURVA DOSE-RESPOSTA DE SULFENTRAZONE EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO .....	55
4.3 RESPOSTA DE DIFERENTES CLASSES COMERCIAIS DE FEIJÃO A SULFENTRAZONE .....	64
4.3.1 Avaliações iniciais .....	64
4.3.2 Avaliações finais .....	68
4.4 ATIVIDADE DE ENZIMAS DO SISTEMA ANTIOXIDANTES EM GENÓTIPOS DE FEIJOEIRO E SUA RELAÇÃO COM A TOLERÂNCIA A SULFENTRAZONE .	74
4.4.1 Tolerância relativa, parâmetros morfológicos e conteúdo de clorofila .....	74
4.4.2 Atividade enzimática .....	79
4.5 RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO À ASSOCIAÇÃO DE SULFENTRAZONE E INIBIDORES DA METABOLIZAÇÃO.....	84
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>91</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>93</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>111</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. e *Vigna* spp.) é uma das principais culturas anuais do Brasil, o qual é o maior produtor mundial. De todo o feijão produzido no Brasil, aproximadamente 77% pertence a espécie *Phaseolus vulgaris* L. (feijoeiro-comum), enquanto o restante pertence a *Vigna unguiculata* (feijão-caupi). Aproximadamente 79% do feijão-comum cultivado no país pertence ao “feijão-de-cores”, com grande predominância do tipo “carioca”, sendo os demais 21% do tipo feijão preto (CONAB, 2020).

No Brasil, as cultivares de feijoeiro são agrupadas pelas características da semente quanto a cor e tamanho, formando diferentes grupos ou classes comerciais. As principais classes são: preto, carioca, roxo, roxinho, rosinha, amarelo, branco, vermelho, manteigão, rajado, mulatinho, bolinha (SILVA, WANDER, 2013; FERRARI, RAMOS JÚNIOR, 2015). Outra classificação utilizada considera apenas três grandes classes comerciais: preto, carioca e especial. Os genótipos que não possuem tegumento preto ou carioca são classificados como especiais (FERRARI, RAMOS JÚNIOR, 2015).

O cultivo do feijoeiro de modo geral é complexo, pois são vários os entraves quando comparados as demais espécies cultivadas, relacionados tanto a nível de espécie como a nível econômico (oscilação de preço) (GANASCINI *et al.*, 2019). De modo geral, a cultura do feijoeiro apresenta baixa estatura de plantas e ciclo curto quando comparada com outras grandes culturas de grãos, o que resulta em baixa capacidade competitiva (SOLTANI, SHROPSHIRE, SIKKEMA, *et al.*, 2014). As plantas daninhas constituem uma das grandes dificuldades na condução da cultura e na obtenção de bons resultados produtivos e econômicos. As perdas por plantas daninhas na cultura, podem atingir 71% na produtividade (SOLTANI *et al.*, 2018).

Os herbicidas correspondem a principal tática de manejo empregada para controle de plantas daninhas (SOMERVILLE *et al.*, 2018). No Brasil, na cultura do feijoeiro estão registrados para uso comercial 131 herbicidas, pertencentes a nove mecanismos de ação diferentes, distribuídos em 16 grupos químicos (AGROFIT, 2020). Destes mecanismos, apenas dois integram herbicidas recomendados para controle de plantas daninhas em pré-emergência, cujos herbicidas são s-metolachlor

e pendimethalin (inibidores da polimerização dos microtúbulos) e trifluralina (inibidor da divisão celular). Estes são recomendados principalmente para o controle de espécies monocotiledôneas.

Sulfentrazone é um herbicida inibidor da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) do grupo químico triazinona (SENSEMAN, 2007). No Brasil, sulfentrazone possui registro para as culturas do abacaxi, café, cana-de-açúcar, citros, fumo, eucalipto e soja. O herbicida é indicado principalmente para uso em pré-emergência das culturas, porém também há recomendações para pós-emergência em cana-de-açúcar e jato dirigido no abacaxi, fumo, café, citros e eucalipto (AGROFIT 2020). O potencial de uso de sulfentrazone na cultura do feijoeiro foi relatada em alguns estudos (TAZIAR *et al.*, 2016a; TAZIAR *et al.*, 2016b; TAZIAR *et al.*, 2017).

São limitados os herbicidas pré-emergentes disponíveis no mercado aos produtores brasileiros de feijoeiro para controle de infestantes de folhas largas. De modo geral, é de grande valia o conhecimento da tolerância de genótipos a herbicidas potencialmente úteis, como é o caso de sulfentrazone na cultura do feijoeiro. Estudos realizados no Canadá apontam que a tolerância da cultura do feijoeiro a herbicidas pré-emergentes pode estar relacionada com a classe comercial (SOLTANI *et al.*, 2005; HEKMAT *et al.*, 2007; TAZIAR *et al.*, 2016b), assim como o tamanho de sementes do feijão (URWIN *et al.*, 1996; PROCÓPIO, 2001a; SOLTANI *et al.*, 2006). Também tem sido relatado a eficiência de herbicidas pré-emergentes para infestantes folhas largas sem resultar em perdas de produtividade no feijoeiro, como é o caso de sulfentrazone (LI *et al.*, 2017; TAZIAR *et al.*, 2017).

A tolerância de plantas a herbicidas, é dependente de genótipo (PAGNONCELLI JR *et al.*, 2018), condições ambientais e fatores inerentes ao produto, como mecanismo/modo de ação, formulação, dose de ingrediente ativo (HEKMAT *et al.*, 2007) e modo de aplicação (DIESEL *et al.*, 2016). A capacidade de genótipos de feijoeiro-comum tolerarem a aplicação de herbicidas pode relacionar-se com a elevada capacidade de detoxificação (PAGNONCELLI JR *et al.*, 2016), a qual é atribuída principalmente à família das enzimas citocromo *P450* (YU, POWLES, 2014b). A tolerância também pode estar relacionada a outros processos, como a maior atividade de enzimas antioxidantes (BOULAHIA *et al.*, 2016). Enzimas antioxidantes como superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT) são capazes

de detoxificar espécies reativas de oxigênio gerados pela aplicação de herbicidas causadores de estresse oxidativo (JIANG, YANG, 2009; NOHATO *et al.*, 2016; XAVIER *et al.*, 2018).

O mecanismo de ação do sulfentrazone é a inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX). A inibição da enzima PROTOX desencadeia a formação de oxigênio singleto, que causa peroxidação da membrana lipídica e morte celular (LEE, DUKE, 1994). De acordo com Dayan *et al.* (1997) a tolerância da cultura da soja a sulfentrazone relaciona-se com a metabolização do herbicida, entretanto a resposta diferencial entre os genótipos possui ligação com a capacidade do genótipo tolerar o estresse peroxidativo gerado pelo inibidor da PROTOX.

A hipótese deste trabalho é de que existe variação de tolerância do feijoeiro à sulfentrazone, que pode estar relacionada com características morfo-fisiológicas dos genótipos, sendo que quanto maior o tamanho de semente dos genótipos maior é a tolerância. Consequentemente, genótipos de classes comerciais de origem andina apresentariam maiores níveis de tolerância, ocorrendo o inverso com classes provenientes de *pool* gênico mesoamericano. Outra hipótese do estudo, foi a de que a metabolização e atividade de enzimas detoxificadoras relaciona-se com a tolerância diferencial de genótipos a sulfentrazone.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Estudar a tolerância de genótipos brasileiros de feijoeiro ao herbicida sulfentrazone e investigar possíveis mecanismos envolvidos com a tolerância.

### 2.2 Objetivos específicos

Determinar a variabilidade de tolerância e selecionar genótipos brasileiros de feijoeiro (*P. vulgaris* e *Vigna* spp.) ao sulfentrazone, assim como verificar a relação entre tolerância e características morfo-fisiológicas, como classes comerciais, tamanho de sementes e centro de origem dos genótipos.

Verificar se o padrão de tolerância do feijoeiro visualizado nos estudos de ambiente controlado apresenta boa correspondência com a tolerância a campo, sem afetar negativamente o desenvolvimento da cultura e o rendimento de grãos.

Investigar a capacidade de metabolização e a atividade de enzimas antioxidantes sob aplicação de sulfentrazone, relacionando estes processos com diferentes níveis de tolerância.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Importância do feijoeiro no Brasil

O feijoeiro é uma das principais culturas anuais do Brasil, com grande importância econômica e social. É um dos alimentos mais importantes da alimentação nacional pois além de ser uma ótima fonte de proteínas, apresenta grande quantidade de carboidratos, fibras dietéticas e também antioxidantes, vitaminas e minerais (CAMPOS-VEJA *et al.*, 2010; LOVATO *et al.*, 2018). O feijoeiro-comum, como a maioria dos legumes, apresenta grande quantidade de aminoácidos essenciais (como a lisina), porém baixas quantidades de aminoácidos sulfurados (metionina e cisteína). A mistura de feijão e outros alimentos complementares, como ocorre com o arroz (rico em aminoácidos sulfurados e pobre em lisina) é uma combinação que faz parte da cultura típica brasileira (REZENDE *et al.*, 2018).

O Brasil é o maior produtor mundial de feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e está entre os quatro maiores produtores de feijão (*Phaseolus* spp. + *Vigna* spp.) (REZENDE *et al.*, 2018; GANASCINI *et al.*, 2019). Na safra de 2019/2020 foram produzidas aproximadamente 3,2 milhões de toneladas de feijão em todo país. Os estados do Paraná e Minas Gerais representaram 36% de toda a produção brasileira. Dentre os estados da federação, o Paraná apresentou maior área cultivada (376,3 mil ha<sup>-1</sup>) e a maior produção (580,1 mil toneladas) (CONAB, 2020). Segundo Ganascini *et al.* (2019), dezesseis municípios paranaenses destacam-se na produção nacional de feijão, responsáveis por 9% (267 mil toneladas) da produção total na safra de 2016. Entre estes municípios, três pertencem a Mesorregião Sudoeste Paranaense: Pato Branco, Bom Sucesso do Sul e Renascença.

No Brasil, as cultivares de feijoeiro são agrupadas pelas grandes diferenças externas da semente quanto a cor e tamanho, principalmente, formando diferentes grupos ou classes comerciais. Os principais grupos/classes são: preto, carioca, roxo, roxinho, rosinha, amarelo, branco, vermelho, manteigão, rajado, mulatinho, bolinha. Dentre a produção de feijoeiro-comum, apenas 3 a 5% são de feijões denominados especiais, ou seja, de tipos que não se enquadram em carioca ou preto (FERRARI, RAMOS JÚNIOR, 2015).

De acordo com Ferrari e Ramos Júnior (2015), a preferência quanto a classes comerciais relacionadas à característica do grão varia de acordo com a região. O feijão preto é principalmente consumido nos estados da região Sul do Brasil, não possuindo grande aceitação no restante do país. Já feijão de tegumento carioca possui aceitação em todo território nacional. As preferências podem ser mais ou menos abrangentes, por exemplo na região Nordeste é bem consumido feijão do tipo mulatinho, enquanto os de tipo roxo e rosinha são muito populares em Minas Gerais e Goiás. Quanto a teores nutricionais, podem existir variações entre as diferentes classes de feijoeiro, como descrito por Messina (2014) para teores de amido e conteúdo de fibra.

## 2.2 Influência de plantas daninhas no feijoeiro e uso de herbicidas na cultura

Em culturas de lavoura, a perda potencial de produtividade proveniente do convívio com plantas daninhas (34%) é superior ao observado para pragas e patógenos (18 e 16%, respectivamente) (OERKE, 2006). O desenvolvimento do feijoeiro é impactado drasticamente pela presença de plantas daninhas, o que é atribuído principalmente à menor estatura de plantas e ciclo curto, que resulta em baixa capacidade competitiva (SOLTANI, SHROPSHIRE, SIKKEMA, *et al.*, 2014). O período crítico de interferência de plantas daninhas no feijoeiro-comum, no qual a cultura deve estar livre de infestantes, ocorre entre os estádios fenológicos V4 (terceira folha trifoliolada completamente expandida) e R6 (primeira flor aberta), totalizando aproximadamente 22 dias (KOZLOWSKI *et al.*, 2002).

Em estudo realizado para avaliar o potencial de perda de produtividade do feijoeiro em convívio com plantas daninhas nos Estados Unidos e Canadá, Soltani *et al.* (2018) observaram reduções de produtividade que variaram de 31 a 71% ao longo dez anos (2007 a 2016). Segundo os mesmos, baseando-se na perda máxima de rendimento, a presença de plantas daninhas durante todo o ciclo de cultivo poderia resultar em decréscimo de 122.500 mil toneladas por ano. De acordo com Vidal, Portugal e Skora Neto (2010), mesmo com todas as medidas de controle de plantas daninhas na cultura do feijoeiro no Brasil, as plantas daninhas causam 25% de perda de rendimento de grãos anualmente.

Dentre as espécies infestantes que são problemáticas na cultura do feijoeiro, destaca-se *Euphorbia heterophylla*, comumente chamada de leiteiro. Em estudo avaliando o impacto desta espécie no feijoeiro-comum, Machado *et al.*, (2015) descreveram redução de 48% da produtividade quando espécie cultivada e infestante (112 plantas por m<sup>2</sup>) conviveram durante todo o ciclo da cultura e o nível de dano econômico observado foi de 3,3 plantas por m<sup>2</sup>. Neste mesmo ensaio, quando a planta daninha foi implantada 12 dias antes da cultura, cada planta de *E. heterophylla* m<sup>2</sup> reduziu 5,5% do rendimento de grãos, e quando implantada no mesmo dia que a cultura a redução foi de 2,4%. Logo, a presença de 25 plantas por m<sup>2</sup> de papuã (*Brachiaria plantaginea*) no feijoeiro, quando emergido 8 dias antes da cultura, resultou em 70% de perda de produtividade. Quando implantado dez dias após a cultura do feijoeiro, a perda máxima de rendimentos de grãos causada por 25 plantas por m<sup>2</sup> de papuã foi de 5% (VIDAL, PORTUGAL, SKORA NETO, 2010). De acordo com os mesmos autores, o período crítico de interferência de papuã (*Brachiaria plantaginea*) no feijoeiro é situado entre 15 a 30 dias após a emergência da cultura.

Diferentes cultivares podem ser mais ou menos afetados pela competição com determinada espécie daninha, como demonstrado por Galon *et al.* (2018) analisando cultivares de feijão preto em convívio com distintas densidades de *E. heterophylla*, que de modo geral causou redução de 32% e 50% na área foliar e massa seca de feijoeiro (respectivamente), na maior densidade testada (110 plantas de *E. heterophylla* m<sup>2</sup>).

Os herbicidas correspondem a principal tática de manejo empregada pelos agricultores (SOMERVILLE *et al.* 2018). No Brasil, na cultura do feijoeiro estão registrados para uso 131 herbicidas comerciais, que correspondem a 24 ingredientes ativos, pertencentes a nove mecanismo de ação diferentes, distribuídos em 16 grupos químicos (AGROFIT, 2020). Destes mecanismos de ação, dois integram herbicidas recomendados para controle de plantas daninhas em pré-emergência (inibidores da polimerização dos microtúbulos e inibidores da divisão celular) no feijoeiro, quatro para controle em pós-emergência (inibidores do fotossistema II, da enzima PROTOX, da enzima ALS e da enzima ACCase) e quatro para dessecação da cultura/dessecação pré-plantio (inibidores da enzima PROTOX, da glutamina sintase, da EPSPS e do fotossistema I). Comparativamente, para a cultura da soja, são

registrados onze mecanismos de ação, de 20 grupos químicos passíveis de uso no Brasil.

Esta situação exemplifica a menor possibilidade de táticas de manejo químico a serem empregadas na cultura do feijoeiro. Além disto, na modalidade de pré-emergência estão registrados para uso apenas três ingredientes ativos (s-metolachlor, pendimethalin e trifluralina) que possuem capacidade de controle principalmente de espécies monocotiledôneas. Portanto, existe uma lacuna de herbicidas recomendados para pré-emergência de feijoeiro focado em espécies eudicotiledôneas.

### 2.3 Sulfentrazone e seu potencial de uso no feijoeiro

Sulfentrazone (N-[2,4-dichloro-5-[4-(difluoromethyl)-4,5-dihydro-3-methyl-5-oxo-1H-1,2,4-triazol-1-yl]phenyl]methanesulfonamide) é um herbicida aplicado no solo inibidor da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), de grupo químico aril triazinona. Possui solubilidade em água de 780 mg L<sup>-1</sup> (pH 7), constante de dissociação ácida (pK<sub>a</sub>) de 6,56; constante de partição octanol-água (K<sub>ow</sub>) de 9,8 (pH 7) (SENSEMAN, 2007) e constante de sorção de carbono orgânico (K<sub>oc</sub>) de 43 (LEWIS *et al.*, 2006). A enzima PROTOX está envolvida na biossíntese de citocromos de clorofila (cloroplasto) e do *heme* (mitocôndrias) (WATANABE, 2001). A inibição da enzima PROTOX no cloroplasto ocorre pela ligação do herbicida com o substrato (protoporfirinogênio IX), levando a acumulação de protoporfirinogênio IX (TREZZI, NUNES, PORTES, 2009). A diferença de gradiente de concentração gerada dentro e fora do cloroplasto leva a difusão para o citoplasma, onde esse composto é convertido de forma não enzimática em protoporfirina IX (SHERMAN, 1991). No citoplasma a protoporfirina IX reage com a luz e oxigênio gerando espécies reativas de oxigênio (ERO's), como oxigênio singleto, promovendo destruição de clorofilas e carotenóides e causando ruptura de membranas, peroxidação lipídica (MATRINGE *et al.*, 1989).

Sulfentrazone pode ser absorvido tanto por raízes quanto folhas, mas ocorre especialmente pelas raízes. Por causar rápida necrose foliar, a translocação simplástica via floema é baixa (SENSEMAN, 2007). O sintoma característico de sulfentrazone em plantas sensíveis é a necrose após a exposição ao sol, devido a

necessidade de reação entre a luz e a protoporfirina IX reagirem para formar radicais livres. Outros sintomas incluem encarquilhamento, abortamento do hipocótilo, formação de calo no caule, manchas cloróticas e redução do crescimento e área foliar (GEHRKE, CAMARGO, AVILA, 2020).

No Brasil, sulfentrazone (BORAL<sup>®</sup>, FMC Corporation) possui registro para as culturas do abacaxi, café, cana-de-açúcar, citros, fumo, eucalipto e soja. Embora seja um herbicida comumente utilizado no solo, também há recomendações para pós-emergência em cana-de-açúcar e jato dirigido no abacaxi, fumo, café, citros e eucalipto (AGROFIT, 2020). Sulfentrazone é indicado principalmente para uso em pré-emergência de plantas daninhas eudicotiledôneas, porém algumas espécies monocotiledôneas (*Brachiaria* (syn. *Urochloa*) *decumbens*, *Brachiaria* (syn. *Urochloa*) *plantaginea*, *Digitaria horizontalis*, *Echinochloa crusgalli*, *Eleusine indica* e *Panicum maximum*) e ciperáceas também são controladas pelo herbicida (MARTINS *et al.*, 2009; NIEKAMP *et al.*, 2016; SIMPLÍCIO *et al.*, 2018; AGROFIT, 2020).

A sorção de sulfentrazone relaciona-se positivamente com os teores de argila e matéria orgânica do solo, enquanto que a dessorção depende principalmente da matéria orgânica e do pH do solo (PASSOS *et al.*, 2013). Por sua molécula ser ácido fraco ( $pK_a$  de 6,56), sua dinâmica no solo é diferente em solos ácidos e alcalinos. Em solos de  $pH > pK_a$ , a forma aniônica de sulfentrazone predomina e é repelida pelas cargas negativas do solo, o que gera elevada solubilidade e baixa adsorção. Já em solos onde  $pH < pK_a$  a forma neutra é proeminente, tendo alta adsorção da molécula (GEHRKE, CAMARGO, AVILA, 2020).

Por apresentar alta solubilidade ( $K_{ow}$  de 9,8 em pH 7) e baixa afinidade com compostos orgânicos ( $K_{oc}$  de 43), possui a vantagem de chegar ao solo com pouca interferência da palha (RODRIGUES *et al.*, 2000). Nos últimos anos, sulfentrazone vem sendo utilizado em programas de manejo de espécies infestantes resistentes a herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS) e 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS) (GEHRKE, CAMARGO, AVILA, 2020). No Brasil, está licenciada para uso a formulação de sulfentrazone ( $172 \text{ g L}^{-1}$ ) + diuron ( $350 \text{ g L}^{-1}$ ) (Stone<sup>®</sup>, FMC Corporation) nas culturas da cana-de-açúcar, café, citros, eucalipto e soja (AGROFIT 2020), sendo indicado para controle de espécies resistentes a glyphosate, como *Digitaria insularis*, *Conyza bonariensis* e *Eleusine*

*indica* (HEAP, 2021).

A tolerância de feijoeiro-comum (*P. vulgaris*) e feijão adzuki (*Vigna angularis*), além da eficiência de controle de plantas daninhas com o uso do sulfentrazone foram descritos em trabalhos conduzidos no Canadá (HEKMAT *et al.*, 2007; TAZIAR *et al.*, 2016a; TAZIAR *et al.*, 2016b). Nestes trabalhos anteriormente citados e em estudos com outros herbicidas pré-emergentes foram observadas variações de resposta entre diferentes classes de feijão (SOLTANI *et al.*, 2005; SOLTANI *et al.*, 2006; SOLTANI *et al.*, 2012).

A aplicação de 420 g i.a ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone gerou 57% e 29% de redução de produtividade em feijão branco (*White*) e adzuki, respectivamente, enquanto o feijão vermelho (*Kidney*) e “*small red mexican*” não tiveram produtividade afetada (TAZIAR *et al.*, 2016b). Para o herbicida flumioxazin, que também é inibidor da PROTOX, foi significativa a diferença de tolerância entre classes comerciais, visto que 140 g i.a. ha<sup>-1</sup> nas classes de feijão preto e branco reduziram a produtividade em até 23%, enquanto que feijões de maior tamanho de semente não foram afetados (SOLTANI *et al.*, 2005). No estudo de SOLTANI *et al.* (2006), com o herbicida linuron, os níveis de tolerância foram decrescentes segundo a seguinte ordem: rajado > vermelho > carioca > preto.

No Brasil existem informações relacionados a tolerância diferencial de cultivares de feijoeiro a alguns herbicidas, como clomazone, cloransulam-methyl, chlorimuron-ethyl, ethoxysulfuron, imazethapyr, s-metolachlor, saflufenacil (PROCÓPIO *et al.*, 2001a; PROCÓPIO *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2014; TAKANO *et al.*, 2012; DIESEL *et al.*, 2016; PAGNONCELLI JR *et al.*, 2016;), porém, ainda há carência de estudos investigando os efeitos da tolerância sobre classes comerciais, além de estudos de sulfentrazone em feijoeiro-comum.

Nos estudos conduzidos por Hekmat *et al.* (2007) doses superiores a 420 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone geraram elevada injúria no desenvolvimento inicial da cultura, que dependendo da classe comercial, resultou (*Black, Cranberry, Otebo* e *White*) ou não (*Brown, Kidney, Pinto* e *Yellow eye*) em redução do rendimento de grãos. Logo, a aplicação de dosagens inferiores a 210 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone mostraram-se seletivas a maioria das classes de feijão (TAZIAR *et al.*, 2016b).

### 2.3 Tolerância de plantas a aplicação de herbicidas

A capacidade de uma planta de tolerar a aplicação de herbicidas pode ser determinada por mecanismos relacionados ao local de ação herbicida (*target site*) e mecanismos não relacionados ao local de ação do herbicida (*non target site*). A modificação no local de ligação da molécula herbicida na enzima e superexpressão da enzima alvo representam mecanismos "*target site*". A redução da absorção e translocação da herbicida, bem como o aumento da degradação da molécula representam mecanismos "*non target site*" (GAINES *et al.*, 2020).

A degradação da molécula em compostos menos tóxicos, denominada metabolização, é um dos principais mecanismos de tolerância de plantas a herbicidas (YU, POWLES, 2014a). O processo de metabolização compreende quatro etapas principais: I – conversão, II conjugação, III – conversão secundária e transporte para o vacúolo e IV – deposição final do metabólito (DALAZEN *et al.*, 2016). Em cada fase da metabolização existem enzimas envolvidas nos respectivos processos, na fase I enzimas da família citocromo P450 monooxigenases (*P450*) catalisam as reações de monooxigenação de herbicidas que são dependentes de oxigênio e NADPH. Na fase II, enzimas glutathione s-transferases (GST) ou glicosiltransferases (GT) catalisam a conjugação de um substrato hidrofóbico ou eletrolítico no composto proveniente da fase I, resultando em moléculas menos ativas. Na fase III, os metabólitos da fase anterior são transportados para o vacúolo por meio de transportadores ABC, podendo ocorrer uma nova conjugação gerando compostos menos tóxicos. Por fim, na fase IV os metabólitos compartimentalizados no vacúolo podem ser associados à componentes da parede celular (RIGON *et al.*, 2020).

O principal mecanismo de tolerância de culturas a herbicidas inibidores da PROTOX é a metabolização da molécula (DAYAN *et al.*, 2014; BRUSAMARELLO, 2019). Dependendo da espécie, estágio de desenvolvimento da planta e fatores ambientais, a capacidade de metabolização pode variar (YU, POWLES, 2014b). De acordo com Dayan, Weete e Hancosk *et al.* (1996), avaliando espécie tolerante (*Senna obtusifolia*) e sensível a sulfentrazone (*Cassia occidentalis*) verificou que após

nove horas da absorção do ingrediente ativo a planta tolerante metabolizou 91,6% da molécula herbicida enquanto na sensível apenas 17%. A metabolização foi descrita como principal mecanismo de tolerância no feijoeiro para os herbicidas ethoxysulfuron (PAGNONCELLI Jr *et al.*, 2016) e sulfentrazone (BRUSAMARELLO, 2019). O processo de degradação da molécula também foi observado em soja para sulfentrazone (DAYAN *et al.*, 1997) e acifluorfen (RITTER, COBLE, 1981), em milho para flumiclorac (FAUSEY, RENNER, 2000), todos herbicidas inibidores da enzima PROTOX.

A aplicação de inseticidas organofosforados pode inibir a atividade de enzimas detoxificadoras, como a *P450*, pela liberação de átomo de enxofre da molécula inseticida, levando a inativação da enzima (FEST, SCHMLDT, 1974). Deste modo, utilizam-se inseticidas organofosforados para demonstrar indiretamente o mecanismo de detoxificação de herbicidas (BUSI *et al.*, 2016). Investigando o mecanismo de tolerância de cultivares de feijoeiro sensíveis e tolerantes a ethoxysulfuron por meio da aplicação de inibidores da metabolização, Pagnoncelli *et al.* (2016) observaram que a insensibilidade a enzima alvo não era responsável pela tolerância, mas encontrou fortes indícios que a maior detoxificação do herbicida relacionava-se com a sensibilidade dos cultivares ao herbicida. De modo similar, Xavier (2018) relatou que a metabolização do herbicida provavelmente é o mecanismo de tolerância de cultivares de aveia branca à penoxsulam.

Além dos processos acima citados, as plantas podem utilizar de enzimas antioxidantes como mecanismo de defesa à acumulação de espécies reativas de oxigênio (ERO's), gerados por meio de condições de estresse bióticos e abióticos, como a aplicação de herbicidas. Em resposta, ao excesso de ERO's gerado, o sistema de defesa da planta age para eliminar as moléculas tóxicas e restaurar a homeostase celular (CAVERZAN *et al.*, 2019). A maior capacidade de eliminação de ERO's no citoplasma proveria maior proteção contra os herbicidas inibidores da PROTOX (DAYAN *et al.*, 2014), aumentando o nível de tolerância da planta, como já descrito em soja (DAYAN *et al.*, 1997) e arroz (KÖMIVES, GULNER 1994).

Alguns exemplos das principais enzimas antioxidantes são: superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1), catalase (CAT, EC 1.11.1.7) e peroxidase (POD, 1.11.1.7) (FERREIRA, 2007; BROETO, 2014). A superóxido dismutase (SOD) atua na

linha de frente na defesa contra o estresse oxidativo na planta, dismutando o ânion superóxido ( $O_2^{\cdot-}$ ) em peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), de modo a evitar a formação do radical hidroxila ( $OH^{\cdot-}$ ) (ASADA, 1999). O radical  $OH^{\cdot-}$  age na peroxidação lipídica pela abstração do átomo de hidrogênio em uma cadeia instaurada em ácidos graxos poli-insaturados (GIL, TUTEJA, 2010). A SOD são metaloenzimas presentes na maioria dos compartimentos sub-celulares que geram oxigênio reativo (SHARMA *et al.*, 2012), podendo apresentar três isoenzimas: cobre/zinco (Cu/Zn-SOD), manganês (Mn-SOD) e ferro (Fe-SOD) como grupos prostéticos. Cu/Zn-SOD localiza-se no citosol, cloroplastos, peroxissomo e mitocôndria (BOWLER, VON MANTAGU, INZÉ, 1992; DEL RÍO *et al.*, 1998), enquanto que Mn-SOD é encontrado na mitocôndria e Fe-SOD nos cloroplastos (SHARMA *et al.*, 2012).

A enzima catalase (CAT) faz a detoxificação do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), bem como a oxidação de compostos hidrogenados (AEBI, 1984). A CAT está presente nos peroxissomos, locais de maior produção de  $H_2O_2$ , além de citosol, cloroplastos e mitocôndria (MHAMDI *et al.*, 2010). Além da CAT decompor o  $H_2O_2$  gerado nos peroxissomos pela fotorrespiração, também age no  $H_2O_2$  formado na reação da SOD (CARVEZAN *et al.*, 2019). A catalase é a única enzima que catalisa a decomposição de  $H_2O_2$  sem consumir equivalentes redutores, deste modo sendo mais eficiente energeticamente para atingir a homeostase desta ERO (SCANDALIOS, 2005).

O nível de  $H_2O_2$  no tecido celular também é regulado pela peroxidase (POD), que se localiza praticamente nos mesmos compartimentos que a CAT (GIL E TUTEJA, 2010). Além do papel fundamental desempenhado pela POD na eliminação do peróxido de hidrogênio em água e  $O_2$ , também tem envolvimento na biossíntese de lignina e defesa contra estresses bióticos pelo consumo de  $H_2O_2$ . (CARVEZAN *et al.*, 2019).

A capacidade das plantas suportarem o estresse oxidativo é dependente da eficiência das enzimas antioxidantes (KUMAR, GUPTA, NAYYAR, 2012). Estudos demonstram que algumas espécies possuem maior atividade enzimática antioxidante para minimizar danos oxidativos (SAIRAM, SRIVASTAVA, SAXENA, 2000; BLOKHINA, VIROLAINEN, FAGERSTEDT, 2002). A inibição da enzima PROTOX desencadeia a formação de oxigênio singleto, que causa peroxidação da membrana

lipídica e morte celular (LEE, DUKE 1994), portanto, genótipos que apresentem maior capacidade antioxidante podem apresentar vantagens para suportar o estresse gerado por sulfentrazone e demais inibidores da PROTOX (CATANEO *et al.*, 2005; XAVIER *et al.*, 2018).

O aumento da atividade de SOD, CAT e POD em frente à aplicação de herbicidas em várias espécies foi descrita por diferentes autores (CATANEO *et al.*, 2005; SONG *et al.*, 2007); JIANG, YANG, 2009; WU *et al.*, 2010; ZHANG *et al.*, 2014; JIANG *et al.*, 2016; XAVIER *et al.* 2018). Especificamente na cultura do feijoeiro (*P. vulgaris*), Boulahia *et al.* (2016) observou que a atividade da CAT foi acrescida em 40% em função da aplicação de prometryn.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DE FEIJOEIROS BRASILEIROS RELACIONADAS A TOLERÂNCIA AO HERBICIDA SULFENTRAZONE

O experimento foi conduzido entre setembro e outubro de 2019, em casa de vegetação, na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Pato Branco (26°10'38"S 52°41'22"W). A temperatura na casa de vegetação durante a condução do experimento variou entre 20,9 e 32,1 °C e a umidade relativa entre 52,1 e 82,3 %, com ciclo natural de horas claro/escuro.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições, arranjado em esquema fatorial 2 x 40 (Herbicida x Genótipo). O primeiro fator foi constituído pela ausência ou presença de 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone (BORAL 500 SC<sup>®</sup>, FMC Corporation) aplicado em pré-emergência. O segundo fator foi constituído por 40 genótipos brasileiros de feijoeiro (**Tabela 1**, Apêndice 1 e Apêndice 3), dos quais 36 são feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), dois genótipos de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), um feijão adzuki (*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi) e um de feijoeiro-mungo (*Vigna radiata* (L.) Wilczek).

Cada unidade experimental (UE) consistiu em um vaso plástico de 0,7 dm<sup>3</sup> de volume preenchido com solo, onde foram depositadas sementes necessárias para garantir estande mínimo de 2-3 plantas, de acordo com o potencial germinativo. A irrigação foi realizada de modo a manter o solo próximo da capacidade de campo. O solo utilizado, classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (**Tabela 2**), foi coletado e seco à sombra, posteriormente sendo peneirado.

A aplicação foi realizada em pré-emergência com pulverizador costal a pressão constante de CO<sub>2</sub> de 330 kPa, em velocidade de aplicação de 3,6 km h<sup>-1</sup>, acoplado a esse uma barra com quatro pontas do tipo leque XR 110.02, totalizando volume de aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup>. No momento da aplicação, a temperatura média foi de 19 °C e umidade relativa do ar de 72%. Durante a condução do ensaio foi realizada uma aplicação do fungicida piraclostrobina (COMET<sup>®</sup>, Basf S.A.) na dose de 0,3 L ha<sup>-1</sup> e de fertilizante foliar contendo os nutrientes Ca (23,0%) + Cu (5,7%) p/v (SUPA COBRE<sup>®</sup>, Agrichem Do Brasil S/A) na dose de 1 L ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 1** – Nome do genótipo, centro de origem, grande classe comercial, classe comercial, e tamanho da semente. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2019.

Genótipo	<sup>1</sup> Centro de origem	<sup>2</sup> Grande classe comercial	<sup>3</sup> Classe comercial	<sup>4</sup> Tamanho da semente
ANFC 09	Mesoamericano	Carioca	Carioca	Média
ANF 110	Mesoamericano	Preto	Preto	Média
BRS Agreste	Mesoamericano	Especial	Mulatinho	Média
BRS Embaixador	Andino	Especial	Vermelho	Grande
BRS Esplendor	Mesoamericano	Preto	Preto	Pequena
BRS Esteio	Mesoamericano	Preto	Preto	Pequena
BRS Estilo	Mesoamericano	Carioca	Carioca	Média
BRS Executivo	Andino	Especial	Rajado	Grande
BRS FP 403	Mesoamericano	Preto	Preto	Média
Pérola	Mesoamericano	Carioca	Carioca	Média
BRS Pitanga	Mesoamericano	Especial	Roxo	Média
BRS Radiante	Andino	Especial	Manteigão	Grande
BRSMG Realce	Andino	Especial	Rajado	Média
BRSMG Talismã	Mesoamericano	Carioca	Carioca	Média
BRSMG Uai	Mesoamericano	Carioca	Carioca	Pequena
IAC Esperança	Andino	Especial	Bolinha	Média
IAC Galante	Mesoamericano	Especial	Rosinha	Média
IAC Harmonia	Andino	Especial	Rajado	Grande
IAC Imperador	Mesoamericano	Carioca	Carioca	Média
IAC Milênio	Mesoamericano	Carioca	Carioca	Média
IAC Nuance	Andino	Especial	Rajado	Grande
IAC Veloz	Mesoamericano	Preto	Preto	Pequena
IPR 81	Mesoamericano	Carioca	Carioca	Média
IPR Andorinha	Mesoamericano	Carioca	Carioca	Média
IPR Chopim	Mesoamericano	Preto	Preto	Pequena
IPR Corujinha	Mesoamericano	Especial	Rajado	Pequena
IPR Garça	Andino	Especial	Branco	Grande
IPR Graúna	Mesoamericano	Preto	Preto	Pequena
IPR Nhambu	Mesoamericano	Preto	Preto	Média
IPR Tangará	Mesoamericano	Carioca	Carioca	Pequena
IPR Tiziu	Mesoamericano	Preto	Preto	Pequena
IPR Tuiuiú	Mesoamericano	Preto	Preto	Pequena
IPR Uirapuru	Mesoamericano	Preto	Preto	Pequena
IPR Urutau	Mesoamericano	Preto	Preto	Pequena
Jalo Precoce	Andino	Especial	Manteigão	Média
TAA DAMA	Mesoamericano	Carioca	Carioca	Média
Adzuki	<i>Vigna angularis</i>	Adzuki	Adzuki	Pequena
Bico de Ouro	<i>Vigna unguiculata</i>	Caupi	Bico-de-Ouro	Pequena
BRS Novaera	<i>Vigna unguiculata</i>	Caupi	Fradinho	Pequena
Moyashi	<i>Vigna radiata</i>	Mungo	Mungo-verde	Pequena

<sup>1</sup>Blair *et al.*, (2009). <sup>2</sup> Especiais não se enquadram na classe de feijão preto e/ou carioca, Ferrari e Ramos Jr (2015). <sup>3</sup>Informado pela empresa/instituição mantenedora do genótipo, classificado de acordo com CIAT (1987). <sup>4</sup> Grande: maior que 400g/1000 sementes, Média: entre 250 e 400g/1000 sementes e Pequena: menor que 250g/1000 sementes, de acordo com o CIAT (1987). Os genótipos de *Vigna* spp. (Adzuki, BRS Novaera, Bico de Ouro e Moyashi) não foram classificados quanto ao centro de origem.

**Tabela 2** - Características químicas e composição textural do Latossolo Vermelho Distroférrico. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2019.

Características químicas		Composição textural	
Propriedades*	Valores	Fração	Valores %
Matéria orgânica (MO)	60,31 g dm <sup>-3</sup>	Argila	72,0
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	7,13 mgdm <sup>-3</sup>	Areia	6,3
Potássio (K <sub>2</sub> O)	0,91 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Silte	21,7
Capacidade de troca de cátions (CTC)	13,42		
Potencial hidrogeniônico (pH)	4,59		
Acidez trocável (H+Al)	5,10 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		

\*Metodologias: MO realizada via digestão úmida, P e K extraídos com solução de Mehlich-1, pH em CaCl 1:2,5 e Al trocável extraído com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>.

### 3.1.1 Parâmetros fisiológicos

Aos 21 dias após a aplicação do herbicida (DAA) foi avaliado o conteúdo de clorofila total (CCT) de um folíolo do último trifólio completamente expandido, em uma planta por unidade experimental (UE), por meio do CLOROFILOG 1030® (Falker Agricultural Automation, Porto Alegre, Brasil).

Aos 25 DAA, em um folíolo do último trifólio completamente expandido, foram determinadas a concentração interna de CO<sub>2</sub> foliar (C<sub>i</sub>), taxa transpiratória (E), condutância estomática (g<sub>s</sub>), taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A<sub>N</sub>) e eficiência instantânea da carboxilação (E<sub>i</sub>C), com o auxílio de um analisador de gases por infravermelho (IRGA), modelo LCA® (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK). As avaliações foram realizadas entre as 06:00 e 11:00 h A.M. (GMT-3) em uma planta por UE, no total de três repetições por tratamento. Foi utilizada fonte artificial de luz vermelha e azul e CO<sub>2</sub> atmosférico. As condições microclimáticas da câmara foram mantidas a 25 °C e 900 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de radiação fotossinteticamente ativa (RFA).

### 3.1.2 Tolerância relativa e parâmetros morfológicos

As avaliações de tolerância relativa (TR) e altura de planta (ALT) foram realizadas aos 21 dias após a aplicação do herbicida (DAA). A TR foi realizada com auxílio da escala de Frans *et al.* (1986) com modificações, atribuindo-se notas de 0 a 100% para os sintomas visuais de fitotoxicidade em cada UE, em que 0% representa

a morte da planta e 100% corresponde a ausência de danos perceptíveis ou tolerância completa. A ALT foi obtida pela medição da distância entre a base da planta (rente ao solo) e seu ápice (ponto meristemático) (cm).

A área foliar (AF) foi obtida com auxílio do integrador de área foliar LI 3100® (LI-COR, Lincoln, NE, USA). Posteriormente, as plantas foram acondicionadas em estufa de secagem a 60 °C, e após obter-se massa constante, foi determinado a massa seca da parte aérea (MSPA).

### 3.1.3 Índice de Tolerância e Sensibilidade ao Herbicida

Baseado nos resultados de MSPA, foi calculado para cada genótipo índices de tolerância ao herbicida (ITH) e de sensibilidade ao herbicida (ISH) (DARKWA *et al.*, 2016; DIPP *et al.*, 2017). O ITH (Equação 1) consiste em,

$$ITH = (Y_{\text{testemunha}} * Y_{\text{sulfentrazone}}) / (X_{\text{testemunha}}) \quad (1)$$

e o ISH (Equação 2) em,

$$ISH = [(1 - Y_{\text{sulfentrazone}}/Y_{\text{testemunha}}) / (1 - (X_{\text{sulfentrazone}}/X_{\text{testemunha}}))] \quad (2)$$

em que  $Y_{\text{testemunha}}$  e  $Y_{\text{sulfentrazone}}$  são os valores de cada UE do determinado genótipo, respectivamente, e  $X_{\text{testemunha}}$  e  $X_{\text{sulfentrazone}}$  são as médias dos genótipos sem a aplicação e com a aplicação do herbicida.

De acordo com os agrupamentos gerados para os índices foram descritos níveis de tolerância: elevada, intermediária e baixa. Tolerância elevada: genótipos significativamente de maior ITH e menor ISH. Tolerância intermediária: genótipos significativamente de maior ITH e ISH ou de menor ITH e ISH. Tolerância baixa: genótipos significativamente de menor ITH e maior ISH.

### 3.1.4 Análise estatística

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o aplicativo computacional R (RSTUDIO TEAM, 2016). Inicialmente os dados foram relativizados por planta ( $pl^{-1}$ ) dentro de cada UE. A análise de normalidade dos resíduos e a

homogeneidade das variâncias foi analisada pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Para as variáveis MSPA,  $g_s$ , ITH e ISH os dados foram transformados para  $\log_{10}(x+1)$ . A análise da variância pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ) foi realizada com auxílio do pacote ExpDes.pt (FERREIRA *et al.*, 2019). As médias dos tratamentos foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Os dados referentes as variáveis fisiológicas, morfológicas e tolerância relativa dos tratamentos com sulfentrazone foram relativizados em relação à média da testemunha e submetidos Análise multivariada por meio de Componentes Principais (ACP). A resposta dos genótipos na ACP foi discutida de acordo com sua posição nos quadrantes, logo as relações entre genótipo e variável foram interpretadas com base no cosseno do ângulo entre os vetores (GIL, BOJACÁ, SCHREVEENS, 2019). Ângulos entre os vetores menor, maior ou igual a  $90^\circ$  indicaram associações positiva, negativa ou nula, respectivamente.

Os resultados de ACP foram relacionados com grupos classificatórios qualitativos inerentes aos genótipos, como centro de origem, grande classe comercial, classe comercial e tamanho de semente (**Tabela 1**). Os genótipos de *Vigna* spp. foram inseridos na ACP como elementos suplementares, portanto suas coordenadas foram preditas considerando a ACP dos elementos ativos (genótipos de *Phaseolus vulgaris*). A análise de componentes principais foi efetuada utilizando o pacote factoextra (KASSAMBARA, MUNDT, 2017), e a correlação entre a contribuição das variáveis e a variação dos dados da ACP com o pacote ggcorrplot (KASSAMBARA, 2019).

### 3.2 CURVA DE DOSE-RESPOSTA DE SULFENTRAZONE EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na área experimental da UTFPR, Câmpus Pato Branco. A temperatura na casa de vegetação durante a condução do experimento variou entre 24,9 e 32,7 °C e a umidade relativa entre 49,7 e 81,0 %, com ciclo natural de horas claro/escuro.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições. Os fatores constituíram-se de oito genótipos (**Tabela 3**) de feijão e oito doses de sulfentrazone em pré-emergência (0, 50, 100, 200, 400, 600,

8000 e 1000 g i.a. ha<sup>-1</sup>). A escolha dos genótipos foi realizada de acordo o nível de tolerância apresentado para os índices de tolerância e sensibilidade ao herbicida (**Tabela 11**), preconizando dois genótipos de cada grande classe comercial (carioca, preto, especial e *Vigna* spp.) que demonstraram resposta contrastante entre si.

**Tabela 3** – Genótipo, espécie, classe comercial e nível de tolerância. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.

Genótipo	Espécie (Nome comum)	<sup>1/</sup> Classe comercial	<sup>2/</sup> Nível de tolerância	<sup>3/</sup> Tamanho da semente
IPR Tangará	<i>P. vulgaris</i> (Feijão-comum)	Carioca	Inferior	Pequena
Pérola	<i>P. vulgaris</i> (Feijão-comum)	Carioca	Superior	Média
BRS Esteio	<i>P. vulgaris</i> (Feijão-comum)	Preto	Intermediária	Pequena
IPR Uirapuru	<i>P. vulgaris</i> (Feijão-comum)	Preto	Inferior	Pequena
IAC Esperança	<i>P. vulgaris</i> (Feijão-comum)	Especial	Inferior	Média
IAC Harmonia	<i>P. vulgaris</i> (Feijão-comum)	Especial	Superior	Grande
Bico de Ouro	<i>Vigna unguiculata</i> (Feijão-caupi)	Bico de Ouro	Superior	Pequena
Moyashi	<i>Vigna radiata</i> (Feijão-mungo)	Mungo-verde	Intermediário	Pequena

<sup>1/</sup> De acordo com Ferrari e Ramos Júnior (2015);

<sup>2/</sup> CIAT (1987);

<sup>3/</sup> De acordo com **Tabela 1**.

Em cada vaso plástico, de 0,7 dm<sup>3</sup> de volume preenchido com Latossolo Vermelho Distroférico (SANTOS *et al.*, 2013), foram despostas 3 sementes por vaso. A irrigação foi realizada de modo a manter o solo próximo da capacidade de campo. A caracterização química e textural solo utilizado encontra-se na **Tabela 4**.

**Tabela 4** - Características químicas e composição textural do Latossolo Vermelho Distroférico. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.

Características químicas	Composição textural		
	Valores	Fração	Valores %
Propriedades*			
Matéria orgânica (MO)	58,97 g dm <sup>-3</sup>	Argila	67,0
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	8,35 mgdm <sup>-3</sup>	Areia	7,3
Potássio (K <sub>2</sub> O)	0,49 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Silte	25,7
Capacidade de troca de cátions (CTC)	13,38		
Potencial hidrogeniônico (pH)	5,2		
Acidez trocável (H+Al)	4,59 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		

\*Metodologias: MO realizada via digestão úmida, P e K extraídos com solução de Mehlich-1, pH em CaCl 1:2,5 e Al trocável extraído com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>.

A aplicação de sulfentrazone foi realizada em pré-emergência com pulverizador costal a pressão constante de CO<sub>2</sub> de 330 kPa, a uma velocidade de aplicação e 3,6 km h<sup>-1</sup>, acoplado a barra com quatro pontas leque XR 110.02, totalizando volume de aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup>. No momento da aplicação, a temperatura média era de 27 °C e umidade relativa do ar de 73%. Aos 14 e 28 dias após a aplicação foram avaliados a tolerância relativa (TR) e altura de plantas (ALT).

Aos 28 DAA foi mensurado o índice de área foliar (AF) e após a secagem das plantas coletadas foi quantificada a massa seca da parte aérea (MSPA), do mesmo modo que descrito na seção 3.1.2 (Tolerância relativa e parâmetros morfológicos). Os dados de ALT (cm), AF (cm<sup>2</sup>) e MSPA (g) foram relativizados por planta em cada vaso (pl<sup>-1</sup>).

A análise de dados foi realizada com o auxílio do pacote “*drc*” (RITZ, STREIBIG, 2010), utilizando o software RStudio (R CORE TEAM, 2018; RSTUDIO, 2018). Inicialmente foi efetuado o processo de seleção do modelo utilizando o critério de informação de Akaike corrigido (AICc) (Equação 3), como descrito por Burnham *et al.* (2011).

$$AICc = n \log(RSS/n) + (2K(K+1)) / (n-K-1) \quad (3)$$

em que: RSS indica a soma dos quadrados dos resíduos, *n* é o número de amostras, e *K* é o número de parâmetros do modelo. O modelo utilizado para todas as variáveis foi o log-logístico de três parâmetros (Equação 4):

$$y = d / (1 + \exp(b(\log(x) - \log(e)))) \quad (4)$$

em que **y** é a variável dependente, **x** é a dose de sulfentrazone, **d** é a assíntota máxima, **b** é a taxa de decréscimo e **e** é a dose do herbicida que propicia redução de 50% da variável resposta (*LD*<sub>50</sub> para TR, *ALT*<sub>50</sub> para ALT, *AF*<sub>50</sub> para AF e *GR*<sub>50</sub> para MSPA). As doses que proporcionaram 10% de redução de cada variável (*LD*<sub>10</sub>, *ALT*<sub>10</sub>, *AF*<sub>10</sub> e *GR*<sub>10</sub>) foram por meio do script elaborado por Pagnoncelli Jr (2020), utilizando o pacote “*drc*”, por meio da função “*ED*”. A qualidade das equações ajustadas foi determinada através do cálculo do R<sup>2</sup> e da raiz do quadrado médio do erro (RQME).

Com base nos valores obtidos para redução de 50% (*LD*<sub>50</sub>, *GR*<sub>50</sub>) e 10% (*LD*<sub>10</sub>, *GR*<sub>10</sub>) de TR e MSPA foram determinados os fatores de tolerância (FT) dos genótipos (Equação 5):

$$FT = x(GX) / x(GS) \quad (5)$$

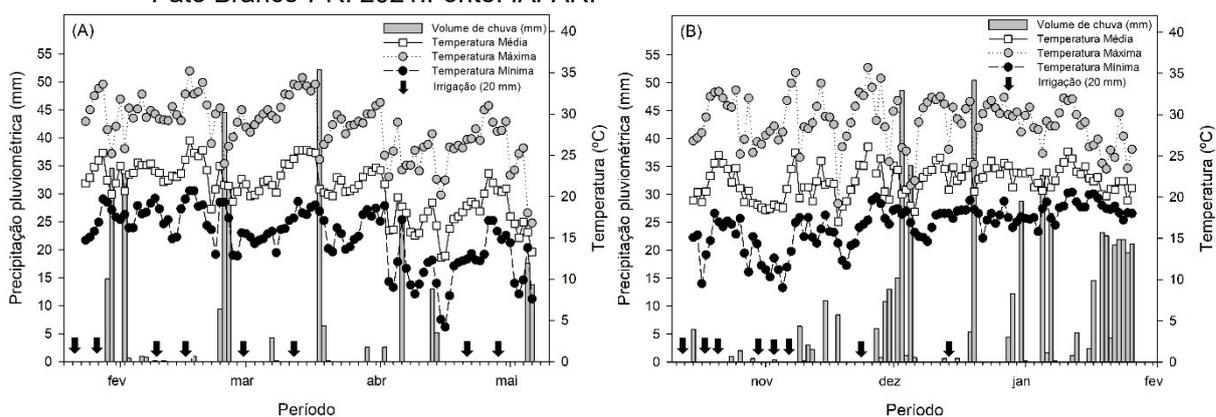
Em que **FT** é o fator de tolerância, **x** indica o *LD*<sub>50</sub> / *GR*<sub>50</sub> ou *LD*<sub>10</sub> / *GR*<sub>10</sub> de um determinado genótipo **GX**, e **GS** representa o valor obtido do genótipo mais sensível. O genótipo **GS** foi definido pela observação de maior impacto negativo no parâmetro **e** (Equação 4) nas variáveis avaliadas (TR, ALT, IAF e MSPA).

A escolha de *LD* (*lethal dose*) e *GR* (*growth reduction*) para determinação do *FT* foi realizada por escalas de injúria e MSPA serem variáveis usualmente utilizadas na área de plantas daninhas para cálculos de fator de resistência/tolerância entre biótipos/genótipos (VILA-AJUB *et al.*, 2007; WILLENBORG *et al.*, 2008). A representação gráfica das curvas dose-resposta foi elaborada com o software RStudio, através do pacote “GGplot2” (WICKHAM, 2016).

### 3.3 RESPOSTA DE DIFERENTES CLASSES COMERCIAIS DE FEIJÃO A SULFENTRAZONE

Foram conduzidos dois experimentos de campo na área experimental Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Pato Branco/PR. Os experimentos foram realizados entre fim de janeiro e início de maio de 2020 (safra 2019/2020) e entre meados de outubro de 2020 e meados de fevereiro de 2021 (safra 2020/2021). Os dados climáticos de precipitação pluviométrica e temperatura registradas durante a condução dos ensaios estão descritos na **Figura 1**. As características químicas e as propriedades físicas do solo dos locais onde foram realizados os experimentos está exposto na **Tabela 5**, ambos classificados como Latossolo Vermelho Distroférico.

**Figura 1** – Precipitação pluviométrica, temperatura média, máxima e mínima durante o período de condução dos experimentos na safra 2019/2020 (A) e 2020/2021 (B). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2021. Fonte: IAPAR.



Os experimentos foram conduzidos em parcelas subdivididas, em delineamento de blocos casualizados, no total de quatro blocos. A parcela principal consistiu em oito genótipos de feijoeiro e as subparcelas da ausência (testemunha) ou presença de 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone em pré-emergência. Os genótipos

utilizados foram os mesmos selecionados no ensaio de curva dose-resposta (**Tabela 3**), agrupados em cada grande classe comercial, em que IPR Tangará e Pérola são da classe carioca, BRS Esteio e IPR Uirapuru da classe preto, IAC Esperança e IAC Harmonia da classe especial, Bico de Ouro da classe caupi (*V. unguiculata*) e Moyashi da classe mungo (*V. radiata*).

**Tabela 5** - Características químicas e composição textural do Latossolo Vermelho Distroférico em que foram conduzidos os experimentos na safra 2019/2020 e 2020/2021. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2021.

Safra 2019/2020			
Características químicas		Composição textural	
Propriedades*	Valores	Fração	Valores %
Matéria orgânica (MO)	40,21 g dm <sup>-3</sup>	Argila	65,0
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	20,88 mgdm <sup>-3</sup>	Areia	8,1
Potássio (K <sub>2</sub> O)	0,61 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Silte	26,9
Capacidade de troca de cátions (CTC)	12,29		
Potencial hidrogeniônico (pH)	5,2		
Acidez trocável (H+Al)	4,28 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		
Safra 2020/2021			
Características químicas		Composição textural	
Propriedades*	Valores	Fração	Valores %
Matéria orgânica (MO)	53,61g dm <sup>-3</sup>	Argila	66,0
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	7,93 mgdm <sup>-3</sup>	Areia	7,9
Potássio (K <sub>2</sub> O)	0,47 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Silte	26,1
Capacidade de troca de cátions (CTC)	14,24		
Potencial hidrogeniônico (pH)	4,9		
Acidez trocável (H+Al)	5,47 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		

\*Metodologias: MO realizada via digestão úmida, P e K extraídos com solução de Mehlich<sup>-1</sup>, pH em CaCl 1:2,5 e Al trocável extraído com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>.

Cada UE consistiu de uma parcela de 4 metros de comprimento por 2,25 metros de largura. Em cada parcela foram dispostas 5 linhas de semeadura, espaçadas em 0,45 metros entre sí. A aplicação de sulfentrazone foi realizada em pré-emergência com pulverizador costal a pressão constante de CO<sub>2</sub> de 330 kPa, a uma velocidade de aplicação e 3,6 km h<sup>-1</sup>, acoplado a esse uma barra com quatro pontas do tipo leque XR 110.02, totalizando volume de aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup>. No momento da aplicação dos ensaios nas safras de 2019/2020 e 2020/2021 a umidade relativa do ar era de 81% e 78%, com temperatura média de 23 °C e 22 °C, respectivamente.

A semeadura foi realizada manualmente, com densidade de semeadura de 15,5 sementes por metro (344 mil sementes ha<sup>-1</sup>) para todos os genótipos. A adubação foi feita na base, com 350 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 08-30-15 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) e também em cobertura, com aplicação de 130 kg de ureia 45-0-0 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) quando as plantas atingiram estágio V6 (aproximadamente 30 dias após semeadura). Em

ambos experimentos foi realizada irrigação por aspersão, empregada para evitar déficit hídrico e também potencializar a eficácia dos defensivos utilizados.

O manejo de plantas daninhas foi realizado por meio de capina manual, de modo que os genótipos não sofressem interferência de plantas infestantes. O manejo de pragas foi efetuado por meio da aplicação dos inseticidas imidacloprid + bifentrina (GALIL<sup>®</sup>, ADAMA BRASIL S/A), imidacloprid + beta-ciflutrina (CONNECT<sup>®</sup>, BAYER S.A.) e acefato (ORTHENE 750 BR, UPL do Brasil Indústria e Comércio de Insumos Agropecuários S.A.), sendo que o acefato foi aplicado após 21 dias após a aplicação de sulfentrazone. Para o controle de doenças foram utilizados os fungicidas piraclostrobina (COMET<sup>®</sup>, BASF S.A.), azoxistrobina + benzovindiflupir (ELATUS<sup>®</sup>, Syngenta proteção de Cultivos Ltda), piraclostrobina + metconazole (OPERA<sup>®</sup> ULTRA, BASF S.A.) e mancozebe (UNIZEB GOLD<sup>®</sup>, UPL do Brasil Indústria e Comércio de Insumos Agropecuários S.A.).

As avaliações realizadas nos experimentos foram divididas em duas etapas: em avaliações iniciais (conduzidas até 28 dias após a aplicação do herbicida / semeadura da cultura) e avaliações finais (realizadas em período pré-colheita / colheita). Todas as avaliações realizadas foram efetuadas nas três linhas centrais de semeadura desconsiderando-se 0,50 m da bordadura da subparcela (área útil).

### 3.3.1 Avaliações iniciais

Aos 14 e 28 DAA foram avaliadas tolerância relativa (TR), altura (ALT) e estande (EST). A TR foi realizada com auxílio da escala de Frans *et al.* (1986) com modificações, atribuindo-se notas de 0 a 100% para os sintomas visuais de fitotoxicidade em cada parcela, em que 0% representa a morte da planta e 100% (testemunha sem aplicação) corresponde a ausência de danos perceptíveis ou tolerância completa. A ALT foi obtida pela medição da distância entre a base da planta (rente ao solo) e seu ápice (cm) de dez plantas escolhidas aleatoriamente. O EST foi determinado pela divisão do número total de plantas emergidas em nove metros de plantio (área útil).

Aos 28 DAA foi medido o conteúdo de clorofila total (CCT) de um folíolo do último trifólio completamente expandido de dez plantas aleatórias em cada UE, por

meio do CLOROFILOG 1030® (Falker Agricultural Automation, Porto Alegre, Brasil). Também aos 28 DAA, foram coletadas aleatoriamente 10 plantas para avaliação do índice de área AF, obtida com auxílio do integrador de área foliar LI 3100® (LI-COR, Lincoln, NE, USA). Posteriormente, a parte aérea das plantas coletadas para determinação de área foliar foram acondicionadas em estufa de secagem a 60 °C, até se obter massa constante, determinando-se a massa seca da parte aérea (MSPA).

### 3.3.2 Avaliações finais

No fim do ciclo da cultura foram determinados: altura final de plantas (ALTF), estande final de plantas (ESTF), diâmetro do colmo (DMC), umidade de grãos (UMG) os componentes de rendimento número de ramos por planta (NRP), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (MMG) e rendimento de grãos (RG) da cultura.

A ALTF e ESTF foram obtidos do mesmo modo descrito para as avaliações iniciais. As avaliações de DMC, NRP, NVP e NGV foram determinados pela avaliação de 10 plantas aleatórias na área útil de cada UE. O DMC foi mensurado na parte basal da planta, com auxílio de paquímetro digital (mm). O NRP foi determinado pela contagem do número de ramos laterais somado ao ramo principal. O NGV foi obtido pela divisão entre o total do número de grãos e o número de vagens. A UMG foi verificada utilizando o determinador de umidade de grãos portátil G610i (Gehaka Ltda., São Paulo, SP, Brasil). A MMG foi obtida pela média da massa de 400 grãos de cada planta amostrada. Para o cálculo do rendimento de grãos o peso da amostra ( $PA$ ) colhida e ausente de impurezas teve umidade de grãos corrigida para 13% (Equação 6):

$$PA_C = PA (100 - UM_{observada}) / (100 - UM_{desejada}) \quad (6)$$

Em que  $PA_C$  representa o peso da amostra corrigida,  $PA$  é o peso da amostra (kg),  $UM_{observada}$  indica a umidade aferida da amostra e  $UM_{desejada}$  representa 13%. O valor de  $PA_C$  (kg) obtido em 09 metros ( $m \text{ linear}^{-1}$ ) e posteriormente extrapolado por hectare ( $kg \text{ ha}^{-1}$ ).

### 3.3.3 Análise estatística

A análise dos dados foi realizada utilizando modelos mistos, por meio do pacote “*lme4*” do R (BATES *et al.* 2015, R CORE TEAM, 2018). Os dados foram particionados dentro de efeitos fixos para bloco, tratamento herbicida (H), classes comerciais (CC) e a interação entre H e CC. Os efeitos aleatórios foram o efeito das parcelas subdivididas (interação do efeito de bloco e genótipo) e do ambiente (ano).

Foram comparados dois modelos: o modelo completo, ou  $m0$  (Equação 7) e um modelo sem o efeito aleatório de ano, ou  $m1$  (Equação 8):

$$x \sim BL + CC * H + (1 | parc) + (1 | Ano) \quad (7)$$

$$x \sim BL + CC * H + (1 | parc) \quad (8)$$

Em que  $x$  representa a variável resposta,  $BL$  os blocos,  $CC * H$  indica os fatores fixos classes comerciais (carioca, preto, especial, caupi e mungo) e herbicida (com e sem aplicação de 420 g i.a. ha- de sulfentrazone) e sua interação,  $1 | parc$  representa o efeito da subdivisão de parcelas (classe comercial como parcela principal e herbicida em subparcela), enquanto que  $(1 | Ano)$  indica o efeito dos diferentes anos. A máxima verossimilhança (logLikelihood), índice de Akaike (AIC) e o critério de informação bayesiano (BIC) foram empregados para selecionar se o efeito aleatório de ano seria ou não utilizado para determinação do modelo.

Os pressupostos de normalidade dos erros e homocedasticidade foram analisados por meio da plotagem de gráficos de quantis normais e de gráficos dos erros *versus* valores ajustados. As variáveis de TR, MPAS e NGV foram transformadas por arco seno raiz quadrada ( $x$ ). Logo, ALT aos 14 DAA, DMC, NVP, MMG e RG foram transformadas por meio de  $\log_{10}(x)$ . A ANOVA dos efeitos fixos foi determinada pelo método de Satterthwaite Tipo III ( $p \leq 0,05$ ) (KUZNETSOVA, BROCKHOFF, CHRISTENSEN, 2017). Quando observada diferença significativa entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a  $p \leq 0.05$ . A comparação entre as médias foi efetuada por meio do pacote “*emmeans*” (KNISS, STREIBIG, 2018). A correlação entre as variáveis finais, e entre TR aos 28 DAA com ESTF e RG foram realizadas utilizando o pacote “*metan*” (OLIVOTO, LÚCIO, 2020).

Os gráficos de correlação com ajuste da equação linear foram elaborados com o software SigmaPlot versão 12.0 (Systat Software, San Jose, CA).

### 3.4 ATIVIDADE DE ENZIMAS DO SISTEMA ANTIOXIDANTES EM GENÓTIPOS DE FEIJOEIRO E SUA RELAÇÃO COM A TOLERÂNCIA A SULFENTRAZONE.

O experimento foi conduzido em duas etapas, inicialmente em casa de vegetação e posteriormente em laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Pato Branco/PR. A temperatura na casa de vegetação durante a condução do experimento variou entre 24,4 e 33,3 °C e a umidade relativa entre 55,9 e 85,9 %, com ciclo natural de horas claro/escuro.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições, em esquema fatorial. Os fatores constituíram-se de oito genótipos de feijoeiro e pela ausência ou presença de 100 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone em pós-emergência da cultura. Os genótipos utilizados foram os mesmos selecionados no ensaio de curva dose-resposta e nos ensaios a campo (**Tabela 3**). A dose empregada de sulfentrazone em pós-emergência foi ajustada em teste preliminar (DADOS NÃO MOSTRADOS), com objetivo de selecionar uma dose não letal. O herbicida foi aplicado quando as plantas de feijoeiro atingiram estágio V3 (primeira folha trifoliolada totalmente expandida) (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Cada unidade experimental (UE) consistiu em um vaso plástico de 5 dm<sup>3</sup> preenchido com solo, onde foram depositadas oito sementes por vaso. Do total de plantas emergidas, foi realizado o raleio para apenas duas plantas por vaso. A irrigação foi realizada de modo a manter o solo próximo da capacidade de campo. O solo utilizado, classificado como Latossolo Vermelho Distroférico, foi coletado em área de cultivo de grãos, seco à sombra e peneirado. Sua caracterização química e textural encontra-se na **Tabela 6**.

Para realizar a aplicação foi utilizado pulverizador costal a pressão constante de CO<sub>2</sub> de 330 kPa, a uma velocidade de aplicação de 3,6 km h<sup>-1</sup>. As pontas utilizadas eram do tipo XR 110.02, totalizando volume de aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup>. No momento da aplicação, a temperatura média era de 22 °C e umidade relativa do ar de 77%. Durante a condução do experimento foi realizada uma aplicação do fungicida

piraclostrobina (COMET®, Basf S.A.) na dose de 75 g i.a. ha<sup>-1</sup>, do inseticida espiromesifeno em dose de 144 g i.a. ha<sup>-1</sup> (Oberon®, Bayer S.A) e de fertilizante foliar misto (Biozyme®, UPL do Brasil S.A.) na dose de 0,25 L ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 6** - Características químicas e composição textural do Latossolo Vermelho Distroférrico. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.

Características químicas		Composição textural	
Propriedades*	Valores	Fração	Valores %
Matéria orgânica (MO)	54,95 g dm <sup>-3</sup>	Argila	70,0
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	13,27 mgdm <sup>-3</sup>	Areia	6,7
Potássio (K <sub>2</sub> O)	0,39 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Silte	23,3
Capacidade de troca de cátions (CTC)	14,43		
Potencial hidrogeniônico (pH)	5,40		
Acidez trocável (H+Al)	3,84 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		

\*Metodologias: MO realizada via digestão úmida, P e K extraídos com solução de Mehlich-1, pH em CaCl 1:2,5 e Al trocável extraído com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>.

#### 3.4.1 Tolerância relativa, parâmetros morfológicos e conteúdo de clorofila

As avaliações de tolerância relativa (TR) e altura de planta (ALT) foram realizadas aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação do herbicida (DAA). Aos 21 dias após a aplicação do herbicida (DAA) foi medido o conteúdo de clorofila a, clorofila b e clorofila total (CCT) de um folíolo do último trifólio completamente expandido nas planta em cada UE, por meio do CLOROFILOG 1030® (Falker Agricultural Automation, Porto Alegre, Brasil). A área foliar (AF) foi obtida com auxílio do integrador de área foliar LI 3100® (LI-COR, Lincoln, NE, USA). Posteriormente, as plantas foram acondicionadas em estufa de secagem a 60 °C, até massa constante, determinando-se a massa seca da parte aérea (MSPA).

#### 3.4.2 Atividade enzimática

Após 24 e 48 horas da aplicação de sulfentrazone (HAA) (NOHATTO *et al.*, 2016; XAVIER *et al.*, 2018) foi coletado material vegetal para quantificação da atividade de enzimas de estresse oxidativo SOD, CAT e POD. Foi coletado aproximadamente 1g de material vegetal, que foi rapidamente acondicionado em envelopes de papel-alumínio e congelado em nitrogênio líquido. Logo em seguida, foi armazenado em freezer a -20°C até o momento da análise. Para cada UE foi coletada

uma amostra, portanto para cada um dos oito genótipos obteve-se quatro quantificações para os tratamentos testemunha (ou atividade constitutiva da enzima) e para tratamentos com sulfentrazone (atividade enzimática induzida).

Para a obtenção do extrato enzimático, o tampão de extração utilizado foi fosfato de potássio (TKP) 100mM pH 7,5, acrescido de 1mM de EDTA (Edeato dissódico di-hidratado), 5 mM de DTT (Ditiotreitol) e 1% (m/v) de PVP (Polivinilpirolidona). Foram empregados 10 mL de tampão de extração para cada 1g de material vegetal. A maceração foi realizada utilizando nitrogênio líquido para impedir o descongelamento da amostra, e o material moído até o ponto de um pó fino, em seguida adicionada a respectiva quantidade de TKP e o material centrifugado por 10 min em centrífuga refrigerada a -4°C a 15.000x g. O precipitado foi descartado e o sobrenadante armazenado a -20°C, e posteriormente utilizado como extrato enzimático. O teor de proteínas foi determinado através de metodologia proposta por Bradford (1976).

A atividade da SOD (EC: 1.15.1.1) foi baseada na metodologia proposta por Giannopolitis e Ries (1977). O meio de reação foi composto por TKP 55,5 mM, pH 7,8, EDTA 0,1 mM, NBT 0,075 mM, metionina 13 mM e riboflavina 2 µM. Para a reação, foram adicionados 25 µL do extrato enzimático a 3 mL de meio de reação, mantidos incubados sob lâmpada fluorescente de 15 Watts por 10 minutos. O branco da reação foi obtido substituindo o extrato enzimático pelo tampão de extração, já para o controle, foi adicionado 25 µL de extrato enzimático a 3 mL de meio de reação, o qual permaneceu 10 minutos no escuro antes de proceder a leitura, posteriormente sendo obtido o valor da diferença entre a leitura com e sem iluminação. As leituras foram realizadas em cubetas de PP (polipropileno) a 560 nm mantendo-se o máximo escuro possível, tanto nas leituras quanto no preparo dos reagentes. Foi considerada uma unidade de SOD a quantidade de enzima capaz de inibir 50% da fotoredução do NBT nas condições do presente estudo. A atividade da enzima SOD foi expressa em unidades por miligrama de proteína (U mg prot<sup>-1</sup>).

A quantificação da atividade da CAT (EC: 1.11.1.6) teve com base a metodologia proposta por Shabala e Cuin (2012), utilizando-se TKP 50 mM pH 7,5, acrescido de 16 mM de peróxido de hidrogênio. O consumo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foi monitorado a 25 °C por 60 s no comprimento de onda de 240 nm, em cubeta de quartzo, com volume

final de 3025  $\mu\text{L}$ , destes 25  $\mu\text{L}$  sendo de extrato enzimático. Para cálculo da atividade enzimática foi utilizado o coeficiente de extinção molar do peróxido de hidrogênio como  $39,4 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ , e está foi expressa em  $\mu\text{M min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$  de proteína.

A POD (EC: 1.11.1.7) teve sua atividade determinada conforme metodologia proposta por Flurkey e Jen (1978) com as concentrações de substrato seguindo sugestões de Cakmak e Horst (1991) e Srivastava e Dwivedi (2000). A reação foi composta por TKP 25 mM pH 6,8, guaiacol 5 mM e 10 mM de peróxido de hidrogênio. A formação de tetraguaiacol foi monitorada a 470 nm por 60s, em cubeta de polipropileno contendo 1025  $\mu\text{L}$ , destes 25  $\mu\text{L}$  sendo de extrato enzimático. Para o cálculo da atividade enzimática utilizou-se o coeficiente de extinção molar de  $26,6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  e a atividade expressa em  $\mu\text{M min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$  de proteína.

### 3.4.3 Análise estatística

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o aplicativo computacional R (RSTUDIO TEAM, 2018). Inicialmente os dados foram relativizados por planta ( $\text{pl}^{-1}$ ) dentro de cada . A análise de normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias foi analisada pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Os dados das variáveis de altura aos 14 e 21 DAA, CCT, atividade da enzima CAT e POD 48 HAA foram transformados para  $\log_{10}(x+1)$ . A análise da variância pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ) foi realizada com auxílio do pacote ExpDes.pt (FERREIRA *et al.*, 2019). As médias dos tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

## 3.5 RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO À ASSOCIAÇÃO DE SULFENTRAZONE E INIBIDORES DA METABOLIZAÇÃO

O experimento foi realizado em casa de vegetação da área experimental Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Pato Branco/PR. A temperatura na casa de vegetação durante a condução do experimento variou entre 24,2 e 32,1 °C e a umidade relativa entre 53,2 e 89,4 %, com ciclo natural de horas claro/escuro. A caracterização química e textural do solo utilizado (Latossolo Vermelho Distroférrico)

encontra-se na **Tabela 7**.

**Tabela 7** - Características químicas e composição textural do Latossolo Vermelho Distroférrico. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.

Características químicas		Composição textural	
Propriedades*	Valores	Fração	Valores %
Matéria orgânica (MO)	41,55 g dm <sup>-3</sup>	Argila	72,0
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	7,93 mgdm <sup>-3</sup>	Areia	5,6
Potássio (K <sub>2</sub> O)	0,48 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Silte	22,4
Capacidade de troca de cátions (CTC)	14,94		
Potencial hidrogeniônico (pH)	6,10		
Acidez trocável (H+Al)	2,95 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		

\*Metodologias: MO realizada via digestão úmida, P e K extraídos com solução de Mehlich-1, pH em CaCl 1:2,5 e Al trocável extraído com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições, em esquema bi-fatorial. O fator A foi constituído de oito genótipos de feijão e o fator B pela aplicação em pós-emergência de sulfentrazone isolado (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>) ou associado a malathion (1000 g i.a. ha<sup>-1</sup>) + chlorpyrifos (1125 g i.a. ha<sup>-1</sup>) (PAGNONCELLI *et al.* 2016) e testemunha sem aplicação. Os genótipos utilizados foram os mesmos descritos nos experimentos anteriores (**Tabela 3**). Os inibidores da metabolização utilizados foram os inseticidas Malathion 500 EC Cheminova<sup>®</sup> (malathion, FMC Corporation) e Vexter<sup>®</sup> (chlorpyrifos, DOW AGROSCIENCES). Os tratamentos foram aplicados quando as plantas de feijão atingiram estágio V3 (primeira folha trifoliolada totalmente expandida). No momento da aplicação, a temperatura média era de 25 °C e umidade relativa do ar de 71%.

Foram avaliados a tolerância relativa (TR) aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação do herbicida (DAA). Aos 21 DAA a parte aérea das plantas foi coletada e acondicionada em estufa de secagem a 60 °C, até alcançar massa constante, determinando-se a massa seca da parte aérea (MSPA). Todos os dados foram relativizados por planta (pl<sup>-1</sup>).

O manejo do experimento, bem como o tamanho de vasos empregados e procedimentos estatísticos foram os mesmos que os descritos na seção anterior (3.4). Os dados de todas as variáveis foram transformados para log<sub>10</sub>(x+1). A análise da variância pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ) foi realizada com auxílio do pacote ExpDes.pt (FERREIRA *et al.*, 2019). As médias dos tratamentos foram agrupadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DE FEIJOEIROS BRASILEIROS RELACIONADAS A TOLERÂNCIA AO HERBICIDA SULFENTRAZONE

A análise de variância demonstrou que para a tolerância relativa e todos os parâmetros morfológicos e fisiológicos analisados foi significativa a interação herbicida\*genótipo (Apêndice 2). Todos os genótipos apresentaram sintomas de fitotoxicidade. Os sintomas observados iniciaram com o escurecimento do tecido foliar, que em alguns casos avançaram para o encarquilhamento das folhas e em outros progrediram à necrose foliar e até mesmo a morte de plantas. Em algumas plantas foi possível observar a presença de manchas escuras no caule.

#### 4.1.1 Tolerância Relativa e Parâmetros Morfológicos

A TR média dos genótipos aos 21 DAA de sulfentrazone foi de 42%, indicando que a maioria dos genótipos apresentaram injúria com recuperação duvidosa de acordo com a escala de Frans *et al.*, (1986) (**Tabela 8**). Os genótipos BRS Novaera, Pérola e ANFC 09 constituíram o grupo com maior TR, situando-se acima de 80%. O segundo grupo foi formado pelos genótipos Bico de Ouro, BRS Estilo, IAC Harmonia, TAA DAMA e BRS Embaixador, com TR entre 64 e 53%. No agrupamento de genótipos de menor TR, os valores situaram--se entre 34 e 19%, com a maioria dos genótipos de grãos do tipo preto, com exceção do Adzuki (*Vigna angularis*), cujas plantas foram completamente destruídas por sulfentrazone. Em estudos conduzidos no Canadá (HEKMAT *et al.*, 2007; TAZIAR *et al.*, 2016b), avaliando diferentes classes comerciais de feijão, foi detectada maior tolerância média dos genótipos ao sulfentrazone (420 g i.a. ha<sup>-1</sup>) do que no presente estudo. Divergências de tolerância ao herbicida entre distintos estudos podem estar relacionadas aos genótipos avaliados, bem como a condições distintas de solo e clima.

Destaca-se a grande discrepância da tolerância ao sulfentrazone entre espécies de *Vigna* spp, pois os dois genótipos de *V. unguiculata* avaliados (BRS Novaera e Bico de Ouro) estiveram entre os com maior TR, o feijão Moyashi (*Vigna*

**Tabela 8** – Tolerância relativa (TR), altura (ALT), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) de 40 genótipos brasileiros de feijoeiro submetidos (S) ou não (T) à aplicação de sulfentrazone. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2019.

Genótipo	TR (relativo à T) <sup>1/</sup>		ALT (cm pl <sup>-1</sup> )		AF (cm <sup>2</sup> pl <sup>-1</sup> )		MSPA (g pl <sup>-1</sup> )									
	T	S	T	S	T	S	T	S								
ANFC 09	100	Aa	81,3	Ba	18,9	Ac	10,2	Bc	113,6	Ab	63,5	Bc	0,61	Ab	0,46	Ab
ANFP 110	100	Aa	40,0	Bc	16,9	Ac	5,9	Bd	112,5	Ab	26,1	Be	0,53	Ab	0,18	Bd
BRS Agreste	100	Aa	43,8	Bc	20,3	Ac	6,8	Bd	97,6	Ab	31,7	Be	0,52	Ab	0,26	Bc
BRS Embaixador	100	Aa	53,8	Bb	23,5	Ab	11,4	Bc	157,4	Aa	69,1	Bc	0,79	Aa	0,46	Bb
BRS Esplendor	100	Aa	38,8	Bc	16,0	Ac	6,6	Bd	90,2	Ac	31,1	Be	0,49	Ab	0,19	Bd
BRS Esteio	100	Aa	45,0	Bc	16,6	Ac	9,5	Bc	127,4	Ab	60,6	Bc	0,58	Ab	0,33	Bc
BRS Estilo	100	Aa	62,5	Bb	17,4	Ac	10,7	Bc	66,4	Ac	52,5	Ad	0,33	Ac	0,28	Ac
BRS Executivo	100	Aa	47,5	Bc	26,4	Aa	25,7	Aa	166,7	Aa	130,5	Ba	0,88	Aa	0,81	Aa
BRS FP 403	100	Aa	43,8	Bc	22,3	Ab	8,1	Bd	126,6	Ab	41,7	Bd	0,63	Ab	0,32	Ac
BRS Pitanga	100	Aa	40,0	Bc	19,5	Ac	4,75	Be	94,1	Ab	24,8	Be	0,39	Ac	0,13	Ab
BRS Radiante	100	Aa	48,8	Bc	21,1	Ab	13,3	Bc	101,6	Ab	87,9	Ac	0,43	Ac	0,46	Ab
BRSMG Realce	100	Aa	45,0	Bc	19,2	Ac	12,0	Bc	125,7	Ab	79,6	Bc	0,51	Ab	0,39	Ab
BRSMG Talismã	100	Aa	42,5	Bc	23,5	Ab	11,7	Bc	105,2	Ab	59,8	Bc	0,52	Ab	0,32	Bc
BRSMG Uai	100	Aa	31,3	Bd	21,0	Ab	5,8	Bd	97,5	Ab	23,1	Be	0,49	Ab	0,16	Bd
IAC Esperança	100	Aa	30,0	Bd	23,7	Ab	7,9	Bd	136,7	Aa	39,3	Bd	0,71	Aa	0,31	Bc
IAC Galante	100	Aa	36,3	Bc	23,6	Ab	6,8	Bd	106,1	Ab	44,8	Bd	0,48	Ab	0,3	Bc
IAC Harmonia	100	Aa	61,3	Bb	16,0	Ac	10,4	Bc	105,4	Ab	84,4	Ac	0,51	Ab	0,45	Ab
IAC Imperador	100	Aa	25,0	Bd	19,2	Ac	7,9	Bd	98,7	Ab	55,9	Bc	0,42	Ac	0,29	Ac
IAC Milênio	100	Aa	43,8	Bc	20,1	Ac	8,1	Bd	132,5	Aa	49,1	Bd	0,61	Ab	0,28	Bc
IAC Nuance	100	Aa	32,5	Bd	18,6	Ac	7,6	Bd	126,8	Ab	46,5	Bd	0,63	Ab	0,25	Bc
IAC Veloz	100	Aa	33,8	Bd	20,4	Ac	6,0	Bd	121,5	Ab	36,6	Bd	0,58	Ab	0,25	Bc
IPR 81	100	Aa	31,3	Bd	21,7	Ab	7,25	Bd	110,9	Ab	19,7	Be	0,54	Ab	0,16	Bd
IPR Andorinha	100	Aa	46,3	Bc	23,4	Ab	11,78	Bc	136,3	Aa	63,8	Bc	0,71	Aa	0,36	Bc
IPR Chopim	100	Aa	27,5	Bd	19,1	Ac	7,63	Bd	99,0	Ab	37,1	Bd	0,44	Ac	0,26	Bc
IPR Corujinha	100	Aa	18,8	Bd	17,4	Ac	4,1	Be	115,1	Ab	12,1	Be	0,65	Ab	0,12	Bd
IPR Garça	100	Aa	41,3	Bc	25,9	Aa	9,65	Bc	167,7	Aa	78,1	Bc	0,76	Aa	0,34	Bc
IPR Graúna	100	Aa	35,0	Bc	24,9	Aa	6,2	Bd	119,6	Ab	19,0	Be	0,59	Ab	0,17	Bd
IPR Nhambu	100	Aa	31,3	Bd	21,8	Ab	5,0	Be	123,8	Ab	19,4	Be	0,58	Ab	0,19	Bd
IPR Tangará	100	Aa	20,0	Bd	20,6	Ac	2,48	Be	113,0	Ab	16,1	Be	0,61	Ab	0,16	Bd
IPR Tiziu	100	Aa	27,5	Bd	18,6	Ac	3,53	Be	108,4	Ab	15,9	Be	0,56	Ab	0,22	Bc
IPR Tuiuí	100	Aa	30,0	Bd	11,2	Ad	4,93	Be	65,5	Ac	24,0	Be	0,26	Ad	0,23	Ac
IPR Uirapuru	100	Aa	23,8	Bd	17,5	Ac	4,55	Be	103,5	Ab	20,4	Be	0,44	Ac	0,15	Bd
IPR Urutal	100	Aa	37,5	Bc	20,6	Ac	6,8	Bd	112,0	Ab	23,8	Be	0,55	Ab	0,25	Bc
Jalo Precoce	100	Aa	48,8	Bc	19,8	Ac	9,63	Bc	152,9	Aa	45,9	Bd	0,72	Aa	0,3	Bc
Pérola	100	Aa	82,5	Ba	19,9	Ac	17,33	Ab	127,6	Ab	97,7	Ab	0,61	Ab	0,55	Ab
TAA DAMA	100	Aa	61,3	Bb	18,6	Ac	11,05	Bc	76,9	Ac	47,6	Ae	0,36	Ac	0,32	Ac
Adzuki <sup>2/</sup>	100	Aa	0,0	Be	19,5	Ac	0,0	Be	41,9	Ad	0,0	Be	0,24	Ad	0,0	Bd
Bico de Ouro <sup>3/</sup>	100	Aa	63,8	Bb	20,3	Ac	15,5	Bb	67,8	Ac	50,9	Ad	0,34	Ac	0,28	Ac
BRS Novaera <sup>3/</sup>	100	Aa	85,0	Ba	25,7	Aa	24,2	Aa	85,9	Ac	80,2	Ac	0,85	Aa	0,71	Aa
Moyashi <sup>4/</sup>	100	Aa	46,3	Bc	11,4	Ad	5,1	Be	30,3	Ad	15,3	Ae	0,2	Ad	0,11	Ad
Média	100		42,1		20,1		8,8		109,2		45,6		0,54		0,29	
CV (%)**			12,0		17,8				28,9				23,8			

<sup>1/</sup> Percentual do tratamento com sulfentrazone em relação à média da testemunha. <sup>2/</sup>*Vigna angularis*. <sup>3/</sup>*Vigna unguiculata*. <sup>4/</sup>*Vigna radiata*. \* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). \*\* CV = coeficiente de variação.

*radiata*) apresentou TR intermediária (46 %) e o feijão Adzuki (*V. angularis*) apresentou ausência de tolerância. A elevada Tolerância ao sulfentrazone nas duas cultivares de feijão-caupi (Bico-de-Ouro e BRS Novaera) está de acordo com outros estudos, que detectaram na espécie *V. unguiculata* elevada tolerância a distintos herbicidas, sem resultar em perdas de rendimento (COSTA *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2014; FONTES, GONÇALVES, MORAIS, 2010). A elevada sensibilidade do feijão Adzuki (*Vi. angularis*) ao sulfentrazone foi relatada em trabalhos investigando a tolerância de classes comerciais de feijoeiro (SOLTANI *et al.*, 2012; SOLTANI, SHROPSHIRE, SIKKEMA, 2014; TAZIAR *et al.*, 2016b; SOLTANI, NURSE, SIKKEMA, 2017).

Em outros estudos de resposta de cultivares a herbicidas, já foi relatada a tolerância da cultivar carioca Pérola aos herbicidas s-metolachlor (PROCÓPIO *et al.*, 2001b), imazethapyr (CORREIA, ANDRADE, 2002), chlorimuron-ethyl e cloransulam-methyl (PROCÓPIO *et al.*, 2009) e ethoxysulfuron (PAGNONCELLI Jr *et al.*, 2018). O fato da maioria dos genótipos com maior sensibilidade ao sulfentrazone (exceto o Adzuki) serem de feijoeiro-comum da classe preto corrobora com informações de outros trabalhos, que indicam elevada sensibilidade deste grupo de feijão a herbicidas em geral (SOLTANI *et al.*, 2005; SOLTANI *et al.*, 2006) e especialmente ao sulfentrazone (HEKMAT *et al.*, 2007).

É importante salientar que a maior TR de algumas cultivares e grupos de feijão pode estar relacionada à sua maior capacidade de detoxificá-los, como foi demonstrado na aplicação de ethoxysulfuron em feijoeiro-comum (PAGNONCELLI Jr *et al.*, 2016). A rápida metabolização do herbicida é um mecanismo da planta tolerar herbicidas inibidores da PROTOX (DAYAN *et al.*, 1997), no entanto outros mecanismos também podem influenciar nos diferentes níveis de tolerância entre genótipos, como reduzida absorção e translocação (MATSUMOTO *et al.*, 1997) e aumento da atividade de enzimas antioxidantes (XAVIER *et al.*, 2018).

A redução média de altura (ALT) dos genótipos em função da aplicação de sulfentrazone foi de 11 cm (66%) em relação a média dos genótipos sem aplicação do herbicida (**Tabela 8**). Apenas BRS Executivo, BRS Novaera e Pérola não se diferenciaram da testemunha sem aplicação para a variável ALT. Os genótipos Adzuki, IPR Tangará, IPR Tiziu, IPR Corujinha, IPR Uirapuru, BRS Pitanga, IPR Tuiuiú, IPR Nhambu e Moyashi mostraram a maior redução de ALT, variando entre 100 e 55% em

relação aos tratamentos controle. As perdas na colheita mecanizada em feijão podem variar de 7% (NETO *et al.*, 2008) a 10% (ARF, GITTI, 2015) em cultivares com porte baixo e hábito prostrado, e elas podem ser incrementadas sob redução de altura ocasionada pelo herbicida (TAZIAR *et al.*, 2016b).

Em relação à área foliar (AF) (**Tabela 8**), os genótipos BRS Novaera, BRS Estilo, BRS Radiante, Bico de Ouro, IAC Harmonia, Pérola, TAA Dama e Moyashi formaram o grupo menos afetado por sulfentrazone, com redução de 5 a 49% da AF. Embora tenha mostrado TR intermediária, o BRS Executivo manteve valores elevados de AF, com redução de apenas 13% em relação à testemunha sem aplicação. Em geral, os genótipos com maiores reduções de ALT também apresentaram elevada redução de AF, que variou entre 100 e 73%, como foi constatado com IPR Graúna, IPR 81, IPR Urutau, BRSMG Uai e ANFP 110.

A redução de AF ocasionada pelo herbicida diminui sua capacidade fotossintética (URWIN *et al.*, 1996) e, conseqüentemente, pode reduzir o desenvolvimento de plantas, resultando em menor altura e vagens primárias mais próximas ao solo. Este fato sugere que genótipos que sofreram menor redução de AF ocasionada pela aplicação de sulfentrazone podem possuir vantagens adaptativas e agronomicamente desejadas (maior ALT e inserção de vagens). Em estudo englobando características fenotípicas, componentes de rendimento e distribuição radicular em feijão, Velho *et al.* (2017) observaram que o índice de área foliar foi positivamente correlacionado com a altura de plantas e inserção de primeira vagem, além de ter associação com a distribuição radicular.

A redução média da MSPA causada pelo herbicida foi de 46% (**Tabela 8**). Genótipos BRS Radiante, IPR Tuiuiú, BRS Executivo, BRS Pérola, Bico de Ouro, BRS Estilo, IAC Harmonia, TAA Dama, BRS Novaera, BRSMG Realce, ANFC 09, Moyashi, BRS FP 403 e BRS Pitanga não tiveram redução significativa da MSPA em relação à testemunha. Nos genótipos mais sensíveis, como Adzuki, IPR Corujinha, IPR Tangará, IPR Graúna, IPR 81, IPR Nhambu, BRSMG Uai, BRS Esplendor e IPR Uirapuru, o sulfentrazone provocou reduções de MSPA entre 100 e 63%.

No presente estudo, é importante destacar que os genótipos Pérola, BRS Novaera, Bico de Ouro, BRS Executivo, IAC Harmonia, BRS Radiante e TAA DAMA se destacaram pelo baixo impacto sobre variáveis associadas ao processo de

desenvolvimento das plantas, como TR, MSPA, ALT e AF nos tratamentos com aplicação de sulfentrazone. Por outro lado, destacaram-se pelo maior impacto negativo gerado pelo sulfentrazone sobre variáveis morfológicas os genótipos de feijão preto e Adzuki. Em outros trabalhos que avaliaram o efeito de sulfentrazone sobre genótipos de feijão (HEKMAT *et al.*, 2007; TAZIAR *et al.*, 2016a; TAZIAR *et al.*, 2016b), de modo geral a variável MSPA foi menos afetada nos feijões rajado (*cranberry*), vermelho (*kidney*) e carioca (*pinto*), enquanto os feijões Adzuki e preto (*black*) estiveram entre os mais sensíveis, como observado no presente estudo.

Na média dos genótipos, sulfentrazone na dose de 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> resultou em redução de 56%, 50% e 46% em ALT, AF e MSPA, respectivamente. A TR e variáveis morfológicas (ALT, AF e MSPA) foram altamente correlacionadas (Apêndice 4A) indicando que a injúria induzida por sulfentrazone impactou no crescimento da planta e biomassa.

#### 4.1.2 Parâmetros Fisiológicos

Os genótipos foram agrupados segundo a resposta dos seus parâmetros fisiológicos ao sulfentrazone (**Tabela 9** e **Tabela 10**). O estresse resultante da aplicação de sulfentrazone no feijeeiroo foi evidenciada principalmente na eficiência instantânea da carboxilação (E<sub>i</sub>C), taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A<sub>N</sub>) (**Tabela 9**), e condutância estomática (g<sub>s</sub>) (**Tabela 10**), com reduções médias observadas de 30,2%, 29,3% e 13,5 %, respectivamente.

Alterações fisiológicas decorrentes da aplicação de herbicidas pertencentes a diferentes mecanismos de ação em espécies cultivadas já foram demonstradas na literatura (GALON *et al.*, 2010; BRANDT *et al.*, 2014; MANABE *et al.*, 2014; DE SOUSA *et al.*, 2014; AGOSTINETTO *et al.*, 2016; LANGARO *et al.*, 2016; KRENCHINSKI *et al.*, 2017). A inibição da enzima PROTOX, que é o mecanismo de ação de sulfentrazone, desencadeia a formação de oxigênio singlete, que causa peroxidação da membrana lipídica e morte celular (LEE, DUKE, 1994). A produção deste radical livre, decorrente do acúmulo de protoporfirina IX no citoplasma, também pode interferir em processos fisiológicos, como a estabilidade dos centros de reação dos fotossistemas I e II (TRIPATHY, MOHAPATARA, GUPTA, 2007).

**Tabela 9** – Taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A<sub>N</sub>), Concentração interna de CO<sub>2</sub> foliar (C<sub>i</sub>) e eficiência instantânea da carboxilação (E<sub>i</sub>C) de 40 genótipos brasileiros de feijão submetidos à aplicação de sulfentrazone. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2019.

Genótipo	A <sub>N</sub> (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		C <sub>i</sub> (CO <sub>2</sub> mol <sup>-1</sup> )		E <sub>i</sub> C (A <sub>N</sub> /C <sub>i</sub> )							
	T <sup>1/</sup>	S <sup>1/</sup>	T	S	T	S						
ANFC 09	9,9	Ab	10,8	Aa	289,3	Ab	287,7	Ab	0,034	Ab	0,038	Aa
ANFP 110	7,6	Ab	2,5	Bc	290,0	Bb	340,0	Aa	0,026	Ab	0,008	Bb
BRS Agreste	10,0	Ab	6,7	Ab	286,3	Ab	289,7	Ab	0,035	Ab	0,023	Ab
BRS Embaixador	11,5	Aa	7,1	Bb	288,3	Bb	326,3	Aa	0,04	Aa	0,022	Bb
BRS Esplendor	8,6	Ab	5,4	Ab	288,3	Bb	325,0	Aa	0,03	Ab	0,017	Ab
BRS Esteio	8,1	Ab	7,0	Ab	301,7	Ab	310,7	Aa	0,027	Ab	0,022	Ab
BRS Estilo	13,0	Aa	9,2	Ba	269,3	Ac	290,3	Ab	0,048	Aa	0,032	Ba
BRS Executivo	8,3	Ab	11,0	Aa	291,7	Ab	251,7	Bb	0,029	Bb	0,043	Aa
BRS FP 403	12,9	Aa	9,9	Aa	269,0	Ac	290,7	Ab	0,048	Aa	0,034	Aa
BRS Pitanga	10,7	Aa	10,7	Aa	277,3	Ac	285,7	Ab	0,039	Aa	0,038	Aa
BRS Radiante	7,6	Ab	8,2	Aa	296,0	Ab	290,7	Ab	0,026	Ab	0,028	Aa
BRSMG Realce	8,9	Ab	8,0	Aa	283,7	Ab	313,3	Aa	0,031	Ab	0,026	Aa
BRSMG Talismã	11,6	Aa	8,1	Ba	265,0	Bc	306,0	Aa	0,044	Aa	0,027	Ba
BRSMG Uai	14,0	Aa	3,5	Bc	255,3	Ac	315,0	Aa	0,055	Aa	0,011	Bb
IAC Esperança	8,5	Ab	6,7	Ab	292,3	Ab	321,0	Aa	0,029	Ab	0,023	Ab
IAC Galante	8,5	Ab	8,4	Aa	280,7	Ab	295,7	Ab	0,03	Ab	0,028	Aa
IAC Harmonia	9,7	Ab	8,0	Aa	299,0	Ab	300,3	Ab	0,033	Ab	0,027	Aa
IAC Imperador	7,4	Ab	7,2	Ab	266,3	Ac	273,3	Ab	0,028	Ab	0,027	Aa
IAC Milênio	9,0	Ab	5,5	Ab	252,3	Ac	282,0	Ab	0,036	Ab	0,020	Bb
IAC Nuance	7,9	Ab	5,3	Ab	267,7	Ac	297,0	Ab	0,030	Ab	0,018	Ab
IAC Veloz	9,7	Ab	9,7	Aa	262,7	Ac	282,0	Ab	0,037	Aa	0,034	Aa
IPR 81	10,5	Aa	6,6	Bb	254,7	Bc	299,0	Ab	0,041	Aa	0,024	Bb
IPR Andorinha	9,8	Ab	4,5	Bb	242,3	Bc	307,0	Aa	0,040	Aa	0,015	Bb
IPR Chopim	9,9	Ab	5,5	Bb	251,0	Bc	304,7	Aa	0,040	Aa	0,018	Bb
IPR Corujinha	8,9	Ab	9,4	Aa	275,0	Ac	288,0	Ab	0,033	Ab	0,034	Aa
IPR Garça	10,0	Ab	6,1	Bb	273,0	Bc	320,0	Aa	0,037	Aa	0,019	Bb
IPR Graúna	12,4	Aa	4,4	Bb	274,3	Bc	349,3	Aa	0,045	Aa	0,016	Bb
IPR Nhambu	14,6	Aa	4,6	Bb	267,7	Bc	323,0	Aa	0,054	Aa	0,015	Bb
IPR Tangará	11,8	Aa	5,2	Bb	273,7	Bc	309,3	Aa	0,043	Aa	0,019	Bb
IPR Tiziu	11,4	Aa	5,1	Bb	276,0	Ac	334,3	Aa	0,042	Aa	0,016	Bb
IPR Tuiuiú	11,0	Aa	2,8	Bc	267,7	Bc	337,0	Aa	0,041	Aa	0,009	Bb
IPR Uirapuru	12,4	Aa	9,3	Aa	261,3	Ac	289,0	Ab	0,048	Aa	0,033	Ba
IPR Urutal	11,6	Aa	7,6	Ba	252,3	Ac	283,0	Ab	0,046	Aa	0,027	Ba
Jalo Precoce	9,9	Ab	5,7	Bb	280,0	Bb	318,0	Aa	0,035	Ab	0,018	Bb
Pérola	10,6	Aa	11,8	Aa	275,7	Ac	275,0	Ab	0,039	Aa	0,044	Aa
TAA DAMA	13,5	Aa	10,1	Aa	258,7	Ac	277,7	Ab	0,052	Aa	0,037	Ba
Adzuki <sup>2/</sup>	3,9	Ab	0,0	Bc	349,0	Aa	0,0	Bc	0,011	Ab	0,000	Ab
Bico de Ouro <sup>3/</sup>	9,0	Ab	5,7	Ab	316,0	Aa	346,3	Aa	0,028	Ab	0,016	Ab
BRS Novaera <sup>3/</sup>	11,7	Aa	12,3	Aa	283,0	Ab	271,0	Ab	0,041	Aa	0,045	Aa
Moyashi <sup>4/</sup>	5,8	Ab	8,5	Aa	284,7	Ab	273,3	Ab	0,020	Ab	0,032	Aa
Média	10,0		7,1		277,2		294,5		0,037		0,025	
CV (%)**			24,73				7,15				27,8	

<sup>1/</sup>T: testemunha e S: sulfentrazone. <sup>2/</sup>*Vigna angularis*. <sup>3/</sup>*Vigna unguiculata*. <sup>4/</sup>*Vigna radiata*. \*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). \*\* CV = coeficiente de variação.

A assimilação de CO<sub>2</sub> ( $A_N$ ) entre genótipos sem aplicação de sulfentrazone variou entre 5,8 e 14,6  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (**Tabela 9**), enquanto que nos tratamentos com herbicida, exceto o Adzuki, a  $A_N$  variou entre 2,5 a 12,3  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , com uma redução média de 29%. Os genótipos Adzuki, BRSMG Uai, IPR Tuiuiú e ANFP 110 apresentaram redução de  $A_N$  superior a 67%. Do agrupamento de genótipos que foram significativamente afetados pelo herbicida (16 genótipos), apenas IPR Garça e Jalo precoce são da classe especial.

A  $C_i$  foi o único parâmetro fisiológico em que a média com aplicação de sulfentrazone (295  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) superou a média sem herbicida (277  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) (**Tabela 9**). As cultivares IPR Graúna, IPR Tuiuiú, IPR Andorinha, IPR Tiziu, IPR Chopim, IPR Nhambu, ANFP 110, IPR Garça, BRSMG Talismã, Jalo precoce, BRS Embaixador, BRS Esplendor e IPR Tangará foram superiores quanto a concentração interna de CO<sub>2</sub>, atingindo valores de  $C_i$  até 28% superior ao da testemunha sem aplicação do herbicida (IPR Graúna).

Diferentemente do que foi observado em estudos de restrição hídrica (DIPP *et al.*, 2017; ARRUDA *et al.*, 2018), o estresse gerado pelo herbicida resultou em aumento de  $C_i$ , o que em teoria poderia maximizar a assimilação de carbono pela planta (FERRAZ *et al.*, 2012; ARRUDA *et al.*, 2018). Contudo, isto não ocorreu pois a maior  $C_i$  gerada nos genótipos pela aplicação do herbicida não resultou em acréscimos de  $A_N$  e nos demais parâmetros fisiológicos. Resultados similares aos obtidos foram descritos por Langaro *et al.* (2016), que observaram reduções de  $A_N$ ,  $E_iC$  e  $g_s$ , além de aumento de  $C_i$  em arroz quando aplicado carfentrazone-ethyl, herbicida de mesmo mecanismo de ação e grupo químico que sulfentrazone. De acordo com os autores, isso significa que a maior quantidade de carbono na cavidade subestomatal não foi assimilada, logo, a redução da  $g_s$  foi resultante do fechamento dos estômatos devido aos danos gerado pelo herbicida. Além disso, o dano causado pelo herbicida ao aparato fotossintético consequentemente pode interferir no transporte de elétrons e assim, a alta quantidade de carbono existente no tecido não seria convertida em produção de ATP e NADPH<sub>2</sub>.

Os valores de  $E_iC$  ( $A_N/C_i$ ) foram em média 34% inferiores no tratamento com sulfentrazone (**Tabela 9**), com o agrupamento dos genótipos com os menores valores muito similar ao observado para  $C_i$ , com exceção de IAC Milênio e IPR 81,

que não diferiram das respectivas testemunhas. Logo, os genótipos com maiores valores de E:C foram os mesmos com maiores valores de  $A_N$ , com exceção de IPR Uirapuru e TAA DAMA.

A maioria dos genótipos não mostrou diferenças de taxa transpiratória ( $E$ ) entre os tratamentos sem ( $2,65 \text{ mols H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e com a aplicação de sulfentrazone ( $2,53 \text{ mols H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) (**Tabela 10**). Porém, os genótipos BRSMG Uai, IPR Nhambu, Bico de Ouro, IAC Esperança e IPR Tuiuiú apresentaram decréscimo em  $E$  (variáveis entre 26 e 75%) com a aplicação de sulfentrazone. Por outro lado, Moyashi, IAC Veloz, Pérola, BRS Pitanga, BRS Radiante e Jalo Precoce apresentaram acréscimos de  $E$  (variáveis entre 85 e 26%), em relação à testemunha sem herbicida.

De modo geral, genótipos que tiveram  $A_N$  reduzida foram menos eficientes na E:C. De forma similar, reduções na  $A_N$ ,  $g_s$  e transpiração ( $E$ ) devido a aplicação de herbicidas foi descrita em trigo para iodossulfuron, metribuzin, 2,4-D e metsulfuron (GALON *et al.*, 2010), em girassol para clopyralid (BRANDT *et al.*, 2014), em abacaxi para diuron (CARVALHO *et al.*, 2018) e em soja para o herbicida diuron (DE SOUSA *et al.*, 2014).

Apenas seis (Adzuki, BRSMG Uai, IPR Tangará, IPR Tuiuiú e BRS Agreste) dos 40 genótipos apresentaram redução de condutância estomática ( $g_s$ ) com a aplicação do herbicida, que variou entre 100 a 36% (**Tabela 10**). A  $g_s$  nos tratamentos com sulfentrazone sofreu redução média de 14%, em relação à ausência de herbicida (**Tabela 10**). Em estudos de seleção de genótipos de feijão-comum tolerantes ao estresse hídrico, a  $g_s$  apresenta grande destaque visto que o fechamento dos estômatos para evitar perda de água pela transpiração ( $E$ ) leva a redução da quantidade de carbono intracelular ( $C_i$ ) e conseqüentemente a redução da  $A_N$  (ANDROCIOLI *et al.*, 2016; ARRUDA *et al.*, 2018). No presente estudo, genótipos de menor  $g_s$  devido, à aplicação de sulfentrazone, também tiveram diminuição de outros parâmetros fotossintéticos, o que é respaldado pela correlação significativa e positiva entre  $g_s$  e  $A_N$  (0,79), E:C (0,71) e  $E$  (0,85) (Apêndice 4A).

O conteúdo de clorofila total (CCT) em plantas tratadas com sulfentrazone foi em média apenas 10% inferior em relação às respectivas testemunhas sem aplicação (**Tabela 10**). Porém, as respostas entre os tratamentos

**Tabela 10** – Taxa transpiratória ( $E$ ), condutância estomática ( $g_s$ ) e conteúdo de clorofila total (CCT) de 40 genótipos brasileiros de feijão submetidos à aplicação de sulfentrazone. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2019.

Genótipo	$E$ (mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		$g_s$ (mol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		CCT (Índice Falker)							
	T <sup>1/</sup>	S <sup>1/</sup>	T	S	T	S						
ANFC 09	2,3	Ab	2,6	Ab	0,18	Aa	0,21	Aa	30,88	Aa	32,80	Aa
ANFP 110	1,9	Ab	1,3	Ac	0,13	Ab	0,08	Ab	29,45	Aa	29,0	Aa
BRS Agreste	2,3	Ab	1,8	Ac	0,18	Aa	0,11	Bb	29,53	Aa	21,5	Ab
BRS Embaixador	2,6	Ab	2,7	Ab	0,23	Aa	0,20	Aa	32,15	Aa	23,70	Aa
BRS Esplendor	2,1	Ab	2,0	Ac	0,15	Ab	0,13	Ab	32,60	Aa	23,55	Bb
BRS Esteio	2,3	Ab	2,3	Ac	0,16	Ab	0,16	Aa	36,75	Aa	31,30	Aa
BRS Estilo	2,9	Aa	2,9	Ab	0,22	Aa	0,19	Aa	31,30	Aa	28,98	Aa
BRS Executivo	2,4	Ab	2,7	Ab	0,16	Ab	0,16	Aa	29,10	Aa	27,18	Ab
BRS FP 403	3,0	Aa	3,4	Aa	0,22	Aa	0,21	Aa	25,90	Aa	23,75	Ab
BRS Pitanga	2,9	Ba	3,8	Aa	0,19	Aa	0,22	Aa	29,40	Aa	27,93	Aa
BRS Radiante	2,6	Bb	3,2	Aa	0,15	Ab	0,17	Aa	30,68	Aa	25,83	Ab
BRSMG Realce	3,2	Aa	3,0	Ab	0,17	Ab	0,20	Aa	28,33	Aa	28,65	Aa
BRSMG Talismã	3,2	Aa	2,9	Ab	0,19	Aa	0,18	Aa	34,88	Aa	29,95	Aa
BRSMG Uai	3,3	Aa	0,9	Bd	0,22	Aa	0,07	Bb	31,33	Aa	32,6	Aa
IAC Esperança	2,5	Ab	1,8	Bc	0,17	Ab	0,16	Aa	27,90	Aa	22,35	Ab
IAC Galante	2,4	Ab	2,0	Ac	0,15	Ab	0,16	Aa	32,63	Aa	24,73	Ab
IAC Harmonia	3,1	Aa	2,0	Ac	0,21	Aa	0,16	Aa	26,48	Aa	29,85	Aa
IAC Imperador	1,6	Ab	2,0	Ac	0,10	Ab	0,11	Ab	26,38	Aa	24,38	Ab
IAC Milênio	1,9	Ab	1,8	Ac	0,12	Ab	0,09	Ab	33,28	Aa	28,88	Aa
IAC Nuance	1,9	Ab	1,9	Ac	0,12	Ab	0,10	Ab	27,80	Aa	27,35	Ab
IAC Veloz	2,2	Bb	3,1	Ab	0,14	Ab	0,20	Aa	31,10	Aa	21,13	Bb
IPR 81	2,4	Ab	2,6	Ab	0,15	Ab	0,13	Ab	32,30	Aa	24,73	Ab
IPR Andorinha	2,1	Ab	2,3	Ac	0,12	Ab	0,11	Ab	31,15	Aa	28,00	Aa
IPR Chopim	2,3	Ab	2,2	Ac	0,13	Ab	0,11	Ab	32,20	Aa	29,08	Aa
IPR Corujinha	2,5	Ab	2,7	Ab	0,15	Ab	0,18	Aa	30,88	Aa	15,33	Bc
IPR Garça	2,7	Aa	3,0	Ab	0,17	Ab	0,17	Aa	27,35	Aa	25,98	Ab
IPR Graúna	3,4	Aa	3,1	Ab	0,23	Aa	0,18	Aa	28,48	Aa	32,78	Aa
IPR Nhambu	4,0	Aa	2,1	Bc	0,28	Aa	0,12	Ab	28,20	Aa	28,15	Aa
IPR Tangará	3,3	Aa	1,9	Ac	0,21	Aa	0,10	Bb	28,30	Aa	30,90	Aa
IPR Tiziu	3,1	Aa	2,9	Ab	0,21	Aa	0,17	Aa	31,48	Aa	36,40	Aa
IPR Tuiuiú	2,7	Aa	2,0	Bc	0,18	Aa	0,10	Bb	26,88	Aa	33,73	Aa
IPR Uirapuru	3,2	Aa	3,2	Aa	0,21	Aa	0,20	Aa	30,83	Aa	21,33	Bb
IPR Urutal	2,7	Aa	3,0	Ab	0,18	Aa	0,15	Aa	31,35	Aa	23,03	Ab
Jalo Precoce	2,9	Ba	3,6	Aa	0,19	Aa	0,17	Aa	23,10	Aa	27,83	Aa
Pérola	2,8	Ba	3,7	Aa	0,19	Aa	0,22	Aa	25,70	Aa	27,23	Ab
TAA DAMA	3,3	Aa	3,7	Aa	0,23	Aa	0,19	Aa	34,83	Aa	32,50	Aa
Adzuki <sup>2/</sup>	2,0	Ab	0,0	Be	0,14	Ab	0,00	Bc	34,28	Aa	0,00	Bd
Bico de Ouro <sup>3/</sup>	3,3	Aa	2,1	Bc	0,25	Aa	0,20	Aa	18,53	Aa	25,45	Ab
BRS Novaera <sup>3/</sup>	3,1	Aa	3,6	Aa	0,23	Aa	0,23	Aa	24,70	Aa	28,93	Aa
Moyashi <sup>4/</sup>	1,9	Bb	3,5	Aa	0,10	Ab	0,15	Aa	35,93	Aa	40,93	Aa
Média	2,65		2,53		0,18		0,15		29,86		26,94	
CV (%)**			15,37				21,80				21,26	

<sup>1/</sup>T: testemunha e S: sulfentrazone. <sup>2/</sup>*Vigna angularis*. <sup>3/</sup>*Vigna unguiculata*. <sup>4/</sup>*Vigna radiata*. \*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). \*\* CV = coeficiente de variação.

com e sem sulfentrazone variaram entre ausência de resposta, decréscimo e acréscimo no CCT. Destacaram positivamente os genótipos Bico de Ouro (+39,1%) e Jalo Precoce (+18,8%) e negativamente os genótipos Adzuki (-100%) e IPR Corujinha (-51%).

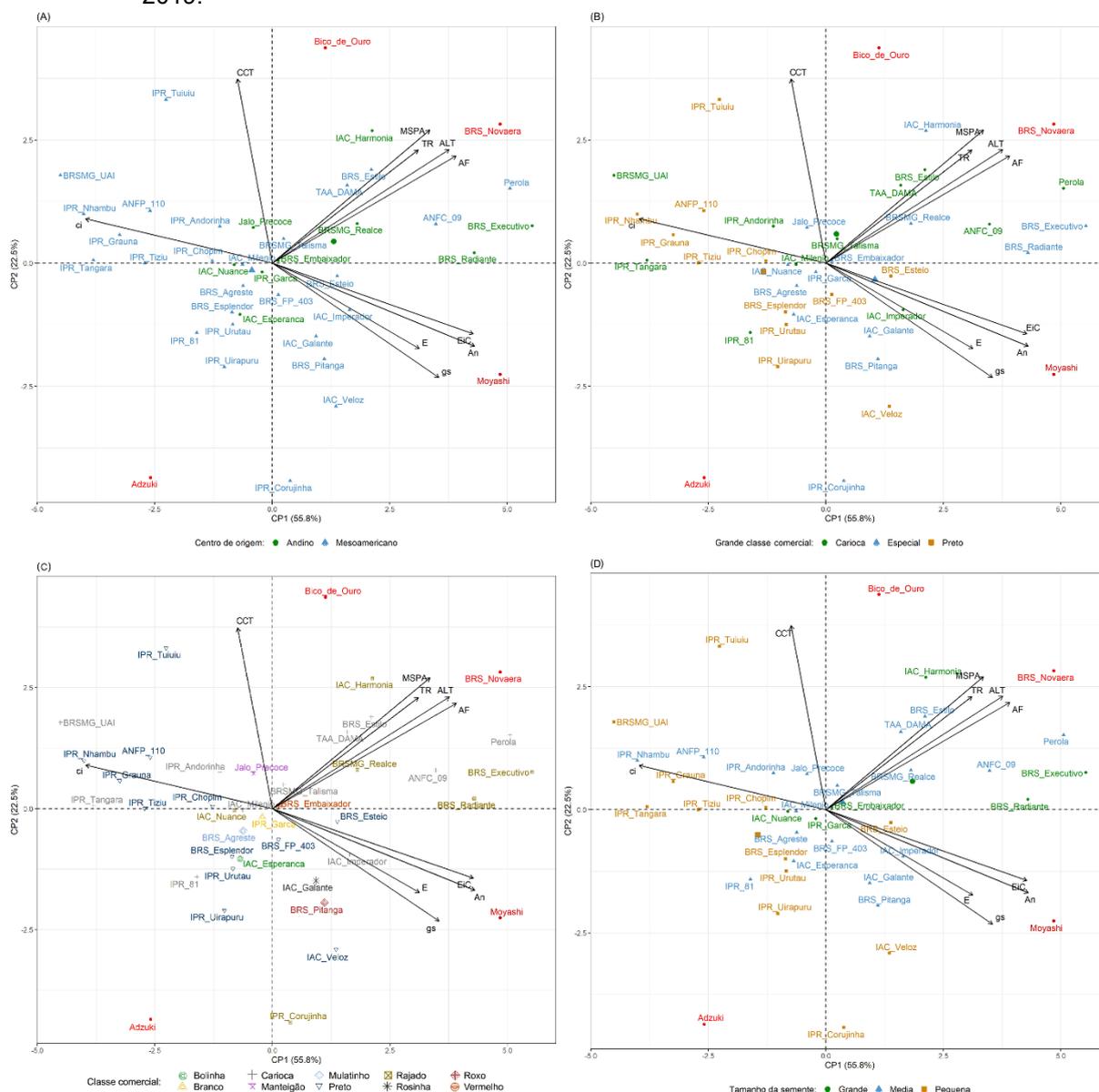
Considerando a resposta fisiológica dos genótipos, alguns demonstraram maior sensibilidade ao sulfentrazone, como é o caso de IPR Tuiuiú, IPR Tangará, IPR Nhambu, BRSMG Uai, que tiveram efeitos negativos sobre a maioria parâmetros avaliados. Ao contrário, genótipos como ANFC 09, BRS Esteio, BRS FP 403, BRS Novaera, Pérola, BRS Pitanga, BRS Radiante, BRSMG Realce, IAC Galante, IAC Harmonia, IAC Imperador, IAC Nuance e Moyashi foram mais tolerantes pois parâmetros da fotossíntese como trocas gasosas e teor de clorofila foliar não foram afetados pela aplicação de sulfentrazone. Geralmente, os genótipos mais tolerantes para as variáveis fisiológicas foram os especiais, sendo menos afetados que os de tegumento carioca e principalmente preto.

#### 4.1.3 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (ACP) (**Figura 2**) foi capaz de relacionar os genótipos com características classificatórias de acordo a variabilidade das variáveis analisadas. De acordo com a ACP, as duas primeiras dimensões foram capazes de explicar 78,3% da variação total dos dados, 55,8% pelo componente principal 1 (CP1) e 22,5% pelo componente principal 2 (CP2). As variáveis que mais contribuíram para a análise de ACP foram  $A_N$ ,  $E_iC$ , AF e ALT (Apêndice 4B).

A tolerância relativa (TR) e parâmetros morfológicos (ALT, AF e MSPA) demonstraram comportamento similar, visto a proximidade dos vetores. Do mesmo modo, a performance dos caracteres  $A_N$ ,  $E_iC$ ,  $E$  e  $g_s$  foi semelhante entre si. Porém, variáveis morfológicas e TR não resultaram em associação positiva/negativa com as variáveis fisiológicas. A  $C_i$  teve desempenho inverso das demais variáveis fisiológicas (exceto CCT) e com associação negativa com os parâmetros morfológicos e TR. A CCT não apresentou associação com  $C_i$  nem com os parâmetros morfológicos e TR e apresentou associação negativa com as demais variáveis fisiológicas.

**Figura 2** – Análise de componentes principais de acordo com o centro de origem (A), grande classe comercial (B), classes comerciais (C) e tamanho de semente de 40 genótipos brasileiros de feijão submetidos à aplicação de sulfentrazone. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2019.



\*Quadrante 1 (Q1; Superior direita), Quadrante 2, (Q2; Superior esquerda), Quadrante 3 (Q3; Inferior esquerda) e Quadrante 4 (Q4; Inferior direita). Genótipos em vermelho são do gênero *Vigna* spp (Adzuki, Bico de Ouro, BRS Novaera e Moyashi).

A dispersão dos genótipos ocorreu em todos os quadrantes da análise de ACP (**Figura 2**). Em geral, a posição dos genótipos *Vigna* spp. no Biplot foi distinta dos de *P. vulgaris*, destacando-se o genótipo BRS Novaera (*V. unguiculata*) pela maior similaridade com os genótipos de *P. vulgaris*. Este genótipo apresentou elevados valores para todos os parâmetros morfológicos e de TR. Dentre todos os genótipos, a performance do feijão Moyashi foi a mais positivamente relacionada com as variáveis

$A_N$ ,  $E_iC$ ,  $E$  e  $g_s$ . Por outro lado, o feijão Adzuki (*V. angularis*) foi o único material que resultou em valores nulos para todos os parâmetros, tendo o desempenho mais dissimilar dentre os genótipos avaliados.

No quadrante 1 (Q1) se situaram genótipos associados com elevada TR ao sulfentrazone e menor redução no desenvolvimento das plantas (ALT, AF e MSPA). No Q3 se localizaram os genótipos mais sensíveis a sulfentrazone, que demonstraram também baixos valores de ALT, AF e MSPA. Os genótipos situados no Q2 se associaram sobretudo com a  $C_i$ , respondendo de maneira inversa para  $A_N$ ,  $E_iC$ ,  $E$  e  $g_s$ . No Q4 estiveram os cultivares mais eficientes quanto à fotossíntese e trocas gasosas, mas que não apresentaram valores elevados de TR e demais parâmetros morfológicos.

A classificação pelo centro de origem (**Figura 2A**) evidenciou que há genótipos de origem tanto mesoamericana quanto andina nos quadrantes que indicam maior (Q1) e menor (Q4) tolerância ao herbicida. Porém, houve predominância dos de origem andina no quadrante Q1 (maior tolerância) e uma maior dispersão dos de origem mesoamericano do que os de origem andina, com ponto médio no Q4 (menor tolerância). Dependendo da localização geográfica dos centros de origem primário e de domesticação, o feijão-comum pode apresentar diferenças expressivas quanto a características de planta, adaptabilidade e tolerância a estresses (MIKLAS *et al.*, 2006; BLAIR *et al.*, 2010; SCHMUTZ *et al.*, 2014), o que explicaria a variabilidade de tolerância a herbicidas.

A separação de grupos nas grandes classes comerciais (**Figura 2B**) indica que, de uma forma geral, genótipos da classe carioca foram mais tolerantes (Q1), seguidos pelos especiais (Q2), enquanto que os genótipos da classe preto foram os mais sensíveis ao herbicida (Q4). Outra diferença importante entre pools gênicos andino e mesoamericano de feijão-comum é a característica do tegumento da semente. Genótipos de origem andina possuem semente de tegumento branco, vermelho, creme e amarelo, podendo ou não apresentar estrias ou rajas. Por outro lado, os mesoamericanos exibem grande variação quanto a cores, caracteristicamente incluindo genótipos com cor de semente preta e creme, com rajas (carioca) (BLAIR *et al.*, 2010).

A classificação quanto às classes comerciais (**Figura 2C**) indica que, dos

seis genótipos de feijão rajado, quatro foram posicionados entre os com maior TR (Q1) (BRS Executivo, BRS Radiante, BRS Realce e IAC Harmonia), variável fortemente correlacionada com variáveis morfológicas (ALT, AF e MSPA). O mesmo comportamento não foi observado para IAC Nuance (Q3) e IPR Corujinha (Q4). Salienta-se que IPR Corujinha é o único dos genótipos rajados que possuem semente de tamanho pequeno, sendo dissimilar da grande maioria dos genótipos pela elevada sensibilidade ao sulfentrazone, e possuir baixa ALT, AF e MSPA. O genótipo BRS Embaixador, da classe vermelho, também esteve entre os mais tolerantes.

Os genótipos de feijão bolinha IAC Esperança, feijão branco IPR Garça e o rajado IAC Nuance tiveram comportamento similar, situados entre os genótipos mais sensíveis (Q3). Os genótipos da classe roxo (BRS Pitanga) e rosinha (IAC Galante) foram alocados no Q4, estando muito próximos entre si. Dentro dos genótipos especiais, apenas Jalo Precoce, da classe manteigão, foi alocado no Q2, segundo a análise de ACP.

O presente estudo demonstrou maior tolerância em genótipos cariocas (**Figura 2C**), rajados e da classe vermelho (BRS Embaixador) e maior sensibilidade em genótipos de tegumento preto. Os resultados estão de acordo com a pesquisa desenvolvida por Hekmat *et al.* (2007), em que cultivares de feijão preto tenderam a ser mais sensíveis ao sulfentrazone (840 g i.a. ha<sup>-1</sup>), com decréscimo de 47% da produtividade, em comparação às classes carioca e vermelho, que não foram afetadas. No estudo de Soltani *et al.* (2006), com o herbicida linuron, os níveis de tolerância foram decrescentes segundo a seguinte ordem: rajado > vermelho > carioca > preto.

O fato de genótipos de tipo carioca diferirem dos demais, especialmente da classe preto, pode estar relacionado à domesticação da espécie e introgressão de genes andinos (DÍAZ, BLAIR, 2006; BLAIR *et al.*, 2013). O feijão carioca apresenta estrias largas em grão de cor creme e tendência a tamanho de semente médio, características distintas da maioria dos genótipos de origem mesoamericana (BLAIR *et al.*, 2013). A domesticação do feijão carioca pela sua adaptação e seleção de características desejáveis, como tamanho de semente e maior capacidade produtiva (SCHMUTZ *et al.*, 2014), resultou em diferença de agrupamento em estudos de populações e diversidade genética de *P. vulgaris* (BEEBE *et al.*, 2000; DÍAZ e BLAIR,

2006; BLAIR *et al.*, 2013; VALENTINI *et al.*, 2018). De acordo com Burle *et al.* (2010), o Brasil pode ser considerado um centro secundário de diversidade do feijoeiro-comum, havendo classes comerciais praticamente exclusivas do país, como é o caso do feijão carioca e também do feijão Jalo (Manteigão). Visto as particularidades do feijão carioca, é justificável que tenha resposta para sulfentrazone diferente das demais classes (**Figura 2B** e **Figura 2C**).

Genótipos com sementes de tamanho médio e grande foram mais tolerantes ao sulfentrazone (**Figura 1D**), o que está de acordo com outros estudos (SOLTANI *et al.*, 2005; SOLTANI *et al.*, 2006), que indicaram que a tolerância de feijoeiro a herbicidas pré-emergentes pode ser influenciada pelo tamanho da semente. A tolerância de cultivares de feijão ao sulfentrazone foi avaliada por Hekmat *et al.* (2007), que constataram predominância de genótipos de semente maior dentre as mais tolerantes. Dentre as classes de feijão Adzuki, “kidney bean”, “small red mexican bean”, “white bean”, a que demonstrou maior tolerância a sulfentrazone foi o “kidney”, que possui o maior tamanho de semente (TAZIAR *et al.*, 2016b). Resultados similares foram observados para o herbicida flumioxazin (140 g i.a. ha<sup>-1</sup>), também um inibidor da PROTOX (SOLTANI *et al.*, 2005). Outros trabalhos descrevem a maior tolerância de genótipos de feijoeiro de sementes grandes a herbicidas aplicados no solo, como alachlor, EPTC, S-metolachlor e imazethapyr (URWIN *et al.*, 1996; PROCÓPIO, 2001a; SOLTANI *et al.*, 2006).

A diferença de tolerância de genótipos de feijão de diferentes tamanhos de semente a herbicidas pode estar relacionada ao desenvolvimento de estruturas primárias, como raízes seminais e hipocótilo (GAZZIERO *et al.*, 2005; LI *et al.*, 1999; LI *et al.*, 2000). De acordo com Li *et al.* (1999), o comprimento do hipocótilo da soja está intimamente ligado com a sensibilidade de genótipos ao sulfentrazone. Avaliando a resposta de diferentes classes de feijão a dimethenamid e metolachlor, Poling *et al.* (2009) observaram que genótipos de classes de semente maior apresentavam maior diâmetro de hipocótilo e foram mais tolerantes aos herbicidas. Os autores concluíram que plântulas com hipocótilo menor apresentariam maior concentração do herbicida no tecido celular do que plântulas com maior hipocótilo, tendo absorvido a mesma quantidade de ingrediente ativo. De modo geral, sementes maiores apresentam maiores quantidades de amido/reservas energéticas, que resultam em plântulas

maiores (AMBIKA *et al.*, 2014). Como sulfentrazone é absorvido principalmente pelas raízes (SENSEMAN *et al.*, 2007), é possível que no presente estudo, o herbicida esteve mais concentrado nas raízes primárias em sementes de tamanho menor, resultando em maiores níveis de injúria nos genótipos de feijão-comum.

A maior sensibilidade do genótipo Adzuki ao herbicida sulfentrazone encontra respaldo em outros ensaios de tolerância entre classes comerciais (SOLTANI *et al.*, 2012; SOLTANI *et al.*, 2014; TAZIAR *et al.*, 2016b; SOLTANI *et al.*, 2017). Ambos os genótipos de feijão-caupi (*V. unguiculata*) avaliados apresentaram elevada tolerância ao sulfentrazone, já o feijão mungo (*V. radiata*) respondeu de modo intermediário na análise de ACP. A diferença de comportamento entre estes genótipos indica grande variação entre as espécies de *Vigna* spp, não se aplicando os padrões classificatórios utilizados para *P. vulgaris*.

A relação da tolerância de feijoeiro-comum com tamanho de semente já foi relatada em alguns trabalhos avaliando herbicidas pré-emergentes, entretanto, o foco destes estudos foram investigar a resposta entre alguns cultivares de classes comerciais distintas. Logo, a classificação de genótipos de acordo com seu tamanho de semente e centro de origem foi eficiente em demonstrar um padrão de tolerância do feijoeiro ao sulfentrazone em pré-emergência.

O presente estudo detectou grande variação de tolerância de genótipos de feijão ao herbicida sulfentrazone. As características morfológicas ALT, IAF e MSPA estiveram fortemente relacionadas à tolerância (TR) dos genótipos de feijão ao sulfentrazone. Os parâmetros fisiológicos avaliados ( $A_N$ ,  $C_i$ ,  $E:C$ ,  $E$ ,  $g_s$ , CCT) foram menos relacionados com a tolerância ao sulfentrazone. Considerando os 36 genótipos de feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris*), avaliados quanto à tolerância relativa e variáveis morfo-fisiológicas, os genótipos Pérola, BRS Executivo, BRS Radiante, IAC Harmonia foram mais tolerantes ao sulfentrazone, enquanto que IPR Uirapuru, IPR 81 e IPR Urutau foram mais sensíveis. Em relação às distintas espécies do gênero *Vigna*, o feijão-caupi (*V. unguiculata*) (genótipos BRS Novaera e Bico de Ouro) foi altamente tolerante ao sulfentrazone, o feijão-mungo (*V. radiata*) (Moyashi) apresentou resposta intermediária, enquanto que o feijão Adzuki (*V. angularis*) foi altamente sensível.

Genótipos de feijão-comum com semente de tamanho médio a grande, principalmente das classes rajado e carioca, foram mais tolerantes ao sulfentrazone,

enquanto as sementes de tamanho pequeno foram mais sensíveis, destacando-se a classe de tegumento preto. Genótipos de origem andina foram mais tolerantes do que os mesoamericanos. Dentro dos genótipos mesoamericanos, os de semente maior (feijão carioca) foram mais tolerantes que os de semente menor (feijão preto).

#### 4.1.4 Índice de tolerância e sensibilidade ao herbicida

O teste de Scott-Knott para o índice de tolerância e sensibilidade a sulfentrazone (**Tabela 11**) resultou em dois agrupamentos de genótipos. Quanto ao ITH, os genótipos de índice superior foram BRS Radiante, Pérola, IAC Harmonia, IPR Tuiuiú, TAA DAMA, BRS Estilo, BRS Novaera, BRS Executivo, Bico de Ouro, BRSMG Realce, ANFC 09, IPR Chopim, IAC Galante, BRSMG Talismã, IAC Imperador, Moyashi, BRS Esteio e BRS Embaixador. Os ITH's destes genótipos variaram entre 1,08 a 0,56.

O índice de sensibilidade (ISH) dos genótipos mais sensíveis variou de 2,18 até 0,88. Dentre os genótipos que abrangeram este agrupamento apenas Moyashi, BRS Esteio, BRS Embaixador e IPR Chopim também foram descritos como de maior ITH. O inverso foi observado para IAC Imperador, que foi agrupado entre os genótipos de menor ITH e ISH. Como para ambos índices foram observados apenas dois agrupamentos, a presença destes genótipos dentre os mais tolerantes e sensíveis ao mesmo tempo indica uma resposta intermediária. O mesmo é válido para o comportamento inverso demonstrado para IAC Imperador.

Dentre os 40 genótipos avaliados, 14 atingiram o nível de tolerância superior, 04 o intermediário e 22 o nível inferior. Dentre os genótipos de tegumento de preto, 12 ao todo, 09 foram classificados com nível de tolerância inferior (75%), 01 com nível intermediário e 02 com nível superior. Entre os genótipos do grupo especial, 07 estiveram no grupo de tolerância inferior 58,3%, 01 com nível intermediário e 05 no nível superior. Nos genótipos do grupo carioca, 06 foram classificados com o nível de tolerância inferior (50%), 01 com o nível intermediário e 05 com o nível superior. Quanto aos genótipos *Vigna spp.*, os genótipos de feijão caupi demonstraram nível de tolerância superior, enquanto mungo e adzuki foram classificados como intermediário e inferior, respectivamente.

**Tabela 11** – Índice de tolerância ao herbicida (ITH) e índice de sensibilidade ao herbicida (ISH) de 40 genótipos brasileiros de feijão submetidos à aplicação de sulfentrazone. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2019.

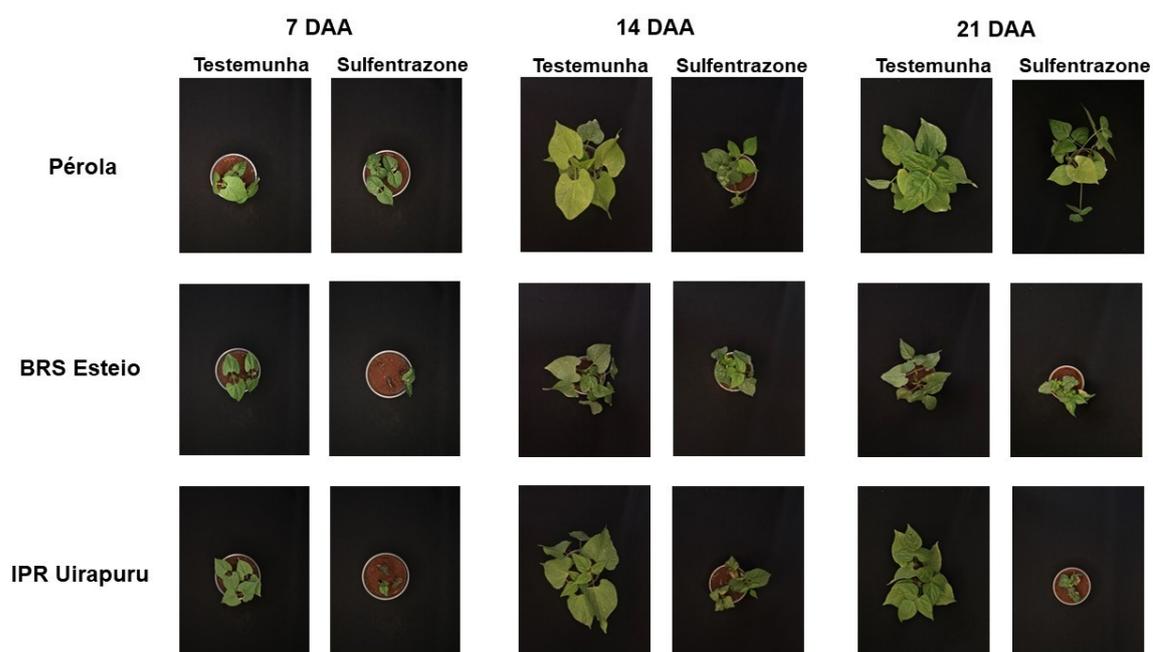
Cultivar	Índice				Nível de tolerância	Grande Classe Comercial
	ITH		ISH			
ANFC 09	0,76	a	0,54	b	Superior	Carioca
ANFP 110	0,30	b	1,16	a	Inferior	Preto
BRS Agreste	0,50	b	1,08	a	Inferior	Especial
BRS Embaixador	0,56	a	0,88	a	Intermediária	Especial
BRS Esplendor	0,43	b	1,39	a	Inferior	Preto
BRS Esteio	0,57	a	0,88	a	Intermediária	Preto
BRS Estilo	0,85	a	0,23	b	Superior	Carioca
BRS Executivo	0,82	a	0,34	b	Superior	Especial
BRS FP 403	0,52	b	1,10	a	Inferior	Preto
Pérola	0,90	a	0,20	b	Superior	Carioca
BRS Pitanga	0,32	b	1,29	a	Inferior	Especial
BRS Radiante	1,08	a	0,14	b	Superior	Especial
BRSMG Realce	0,77	a	0,46	b	Superior	Especial
BRSMG Talismã	0,60	a	0,76	b	Superior	Carioca
BRSMG UAI	0,31	b	1,43	a	Inferior	Carioca
IAC Esperança	0,44	b	1,20	a	Inferior	Especial
IAC Galante	0,62	a	0,79	b	Superior	Especial
IAC Harmonia	0,89	a	0,24	b	Superior	Especial
IAC Imperador	0,60	b	0,62	b	Intermediária	Carioca
IAC Milenio	0,47	b	1,15	a	Inferior	Carioca
IAC Nuance	0,39	b	1,26	a	Inferior	Especial
IAC Veloz	0,41	b	1,18	a	Inferior	Preto
IPR 81	0,31	b	1,52	a	Inferior	Carioca
IPR Andorinha	0,52	b	1,04	a	Inferior	Carioca
IPR Chopim	0,62	a	0,92	a	Intermediária	Preto
IPR Corujinha	0,16	b	1,67	a	Inferior	Especial
IPR Garça	0,46	b	1,15	a	Inferior	Especial
IPR Graúna	0,29	b	1,53	a	Inferior	Preto
IPR Nhambu	0,35	b	1,45	a	Inferior	Preto
IPR Tangará	0,28	b	1,62	a	Inferior	Carioca
IPR Tiziu	0,41	b	1,33	a	Inferior	Preto
IPR Tuiuiú	0,89	a	0,49	b	Superior	Preto
IPR Uirapuru	0,31	b	1,37	a	Inferior	Preto
IPR Urutau	0,45	b	1,20	a	Inferior	Preto
Jalo Precoce	0,40	b	1,23	a	Inferior	Especial
TAA DAMA	0,88	a	0,25	b	Superior	Carioca
Adzuki <sup>1/</sup>	0,00	b	2,18	a	Inferior	Adzuki
Bico de Ouro <sup>2/</sup>	0,79	a	0,21	b	Superior	Caupi
BRS Novaera <sup>3/</sup>	0,82	a	0,25	b	Superior	Caupi
Moyashi <sup>4/</sup>	0,58	a	0,92	a	Intermediária	Mungo
**CV (%)	38,54		22,6		-	

<sup>1/</sup>*Vigna angularis*. <sup>2/</sup>*Vigna unguiculata*. <sup>3/</sup>*Vigna radiata*. \*Médias seguidas de mesma letra minúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). \*\* CV = coeficiente de variação.

Os níveis de tolerância observados (**Tabela 11**), seguiram padrão similar para a análise de agrupamento para parâmetros morfofisiológicos e ACP para os genótipos do grupo preto, pois a maioria foi sensível a sulfentrazone. Porém, os níveis de tolerância dos genótipos do grupo carioca e especial apresentaram menor correspondência com a análise de ACP, pois apenas 41,7% dos genótipos cariocas e especiais foram classificados com nível de tolerância superior. Índices de tolerância e sensibilidade pode ser úteis para a determinação/seleção dos genótipos em situações em que a planta é submetida a um estresse (BEEBE *et al.*, 2013; DIPP *et al.*, 2017). Usualmente, estes índices são utilizados em situações de estresse hídrico, usando o rendimento de grãos/produtividade dos genótipos para base para o cálculo. No presente estudo, a variável escolhida para estimar o ITH e ISH foi MSPA. A escolha desta variável se justificou pela elevada correlação com as demais variáveis, além apresentar elevada contribuição na determinação dos componentes principais (Apêndice 3). Em estudos na área de plantas daninhas a MSPA apresenta grande importância, visto a sua utilização para determinação de doses herbicidas eficazes, cálculo de fator de resistência de espécies/biótipos infestantes a determinados herbicidas e a avaliação da habilidade competitiva entre espécies.

A **Figura 3** exemplifica os diferentes níveis de tolerância entre genótipos.

**Figura 3** – Resposta dos genótipos Pérola, BRS esteio e IPR Uirapuru à aplicação em pré-emergência de sulfentrazone (400 g i.a. ha<sup>-1</sup>) aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2019.

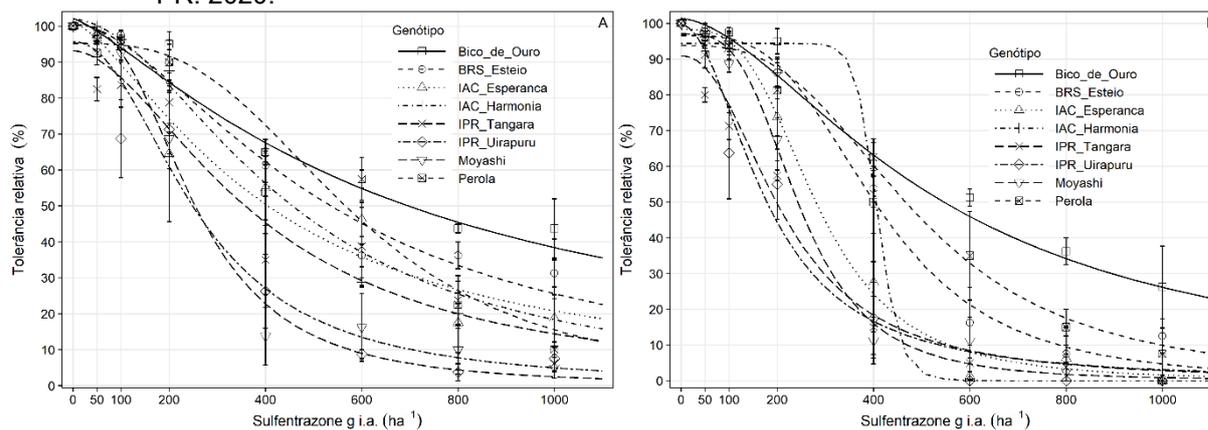


## 4.2 CURVA DE DOSE-RESPOSTA DE SULFENTRAZONE EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO

Para todas as variáveis avaliadas (**Figura 4**, **Figura 5** e **Figura 6**), o incremento da dose de sulfentrazone resultou em redução gradativa das variáveis resposta (TR, ALT, IAF e MSPA), que tiveram comportamento ajustado pelo modelo logístico de três parâmetros (**Tabela 12**, **Tabela 13** e **Tabela 14**).

A TR dos genótipos de feijão foi mais afetada pelas doses crescentes de sulfentrazone aos 28 DAA (**Figura 4B**) comparativamente à avaliação realizada aos 14 DAA (**Figura 4A**). A maior variação da TR entre os genótipos ocorreu em doses superiores a 200 g i.a. ha<sup>-1</sup>, com máxima diferença entre genótipos observada na dose de 400 g i.a. ha<sup>-1</sup>, em média de 51% para ambas datas de avaliação (14 e 28 DAA). Na maior dose de sulfentrazone (1000 g i.a. ha<sup>-1</sup>), Bico de Ouro destacou-se por apresentar TR mais elevada, de 44% e 26%, aos 14 e 28 DAA respectivamente, enquanto que as TR's máximas nesta dose para o segundo genótipo mais tolerante (BRS Esteio) foi de 28% (14 DAA) e 13% (28 DAA).

**Figura 4** – Tolerância relativa (%) de genótipos de feijão submetidos a aplicação de sulfentrazone aos 14 (A) e 28 (B) dias após a aplicação do herbicida. A posição dos símbolos representa a média de cada genótipo e as barras correspondem ao erro padrão da média. Os parâmetros das equações estão descritos na **Tabela 12**. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.



A TR média dos genótipos aos 14 DAA / 28 DAA foi reduzida em média em 9% / 13%, 19% / 25%, 54% / 63% para 100, 200 e 400 g i.a. há<sup>-1</sup>, respectivamente. Dados da literatura descrevem que a injúria média de sulfentrazone em pré-emergência de feijão 14 DAA / 28 DAA sob aplicação de 210, 280 e 420 g i.a. há<sup>-1</sup>, foram de 5% / 9%, 10% / 19%, 29% / 40%, respectivamente (TAZIAR *et al.* 2016b).

Pode-se observar similaridades entre as TR's obtidas no presente estudo na dose de 200 g i.a. ha<sup>-1</sup> e as descritas por Taziar *et al.* (2016b) para 210 g i.a. ha<sup>-1</sup> do herbicida. Fernandes *et al.* (2011), descreveu que a injúria causada por 600 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone em feijoeiro foi de 80% aos 28 DAA, que vai de encontro com o presente trabalho, em que a redução de TR induzida por sulfentrazone na mesma dose (**Figura 4**) foi em média de 85%.

Os parâmetros e demais informações das equações ajustadas para as avaliações de TR (**Figura 4**) estão descritos na **Tabela 12**. Os valores de R<sup>2</sup> (superiores a 0,76) e RQME (inferiores a 14,83) fazem inferência a qualidade de ajuste do modelo, que se demonstrou adequado. Os valores necessários para redução de 50% da TR (*LD*<sub>50</sub>) aos 14 DAA situaram-se entre 253,30 (Moyashi) e 674,48 (Bico de Ouro), logo, aos 28 DAA variaram entre 179,13 (IPR Uirapuru) a 537,89 (Bico de Ouro).

**Tabela 12** - Parâmetros da equação, dose necessária para proporcionar 10% de redução da TR (*LD*<sub>10</sub>), coeficiente de determinação ajustado (R<sup>2</sup>) e raiz do quadrado médio do erro (RQME) para a variável massa da parte aérea seca (MPAS) (%) aos 14 e 28 dias após a aplicação de sulfentrazone em oito genótipos de feijão. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.

Genótipo	14 dias após a aplicação (DAA)					
	Parâmetros da equação			<i>LD</i> <sub>10</sub>	R <sup>2</sup>	RQME
	b	d	<i>LD</i> <sub>50</sub> (e)			
IPR Tangará <sup>C/</sup>	1,79 <sup>1/</sup> (0,35)***	93,18 (4,80)***	388,04 (48,79)***	179,20 (44,20)	0,81	14,83
Pérola <sup>C/</sup>	23,05 (0,63)***	95,19 (3,55)***	584,66 (41,47)***	284,65 (55,48)	0,91	9,99
BRS Esteio <sup>P/</sup>	1,70 (0,30)***	101,07 (4,25)***	528,85 (52,73)***	145,23 (40,71)	0,93	7,69
IPR Uirapuru <sup>P/</sup>	2,15 (0,49)***	95,67 (5,66)***	259,39 (36,73)***	93,564 (36,22)	0,87	14,61
IAC Esperança <sup>E/</sup>	1,47 (0,25)***	100,94 (5,14)***	399,84 (53,90)***	89,53 (30,95)	0,76	16,93
IAC Harmonia <sup>E/</sup>	1,88 (0,32)***	101,88(4,23)***	447,02 (42,72)***	114,04 (37,54)	0,91	10,18
Bico de Ouro <sup>CP/</sup>	1,28 (0,25)***	102,09 (4,66)***	674,48 (84,77)***	121,98 (45,95)	0,79	11,88
Moyashi <sup>M/</sup>	2,69 (0,55)***	100,38 (4,38)***	253,30 (22,06)***	111,85 (23,21)	0,93	11,03
Genótipo	28 dias após a aplicação (DAA)					
	Parâmetros da equação			<i>LD</i> <sub>10</sub>	R <sup>2</sup>	RQME
	b	d	<i>LD</i> <sub>50</sub> (e)			
IPR Tangará <sup>C/</sup>	2,24 (0,51)***	90,87 (5,52)***	216,65 (30,12)***	81,20 (27,71)	0,94	9,65
Pérola <sup>C/</sup>	2,98 (0,60)***	93,80 (3,47)***	487,51 (36,39)***	232,91 (45,37)	0,89	12,30
BRS Esteio <sup>P/</sup>	3,33 (0,69)***	96,57 (3,80)***	407,58 (56,44)***	212,47 (38,98)	0,93	10,65
IPR Uirapuru <sup>P/</sup>	1,99 (0,28)***	99,50 (5,19)***	179,13 (21,67)***	59,70 (14,55)	0,89	14,35
IAC Esperança <sup>E/</sup>	3,23 (0,55)***	98,33 (3,81)***	283,20 (22,75)***	143,37 (22,79)	0,94	10,47
IAC Harmonia <sup>E/</sup>	18,69 (18,5) <sup>ns</sup>	94,37 (2,92)***	407,21 (71,24)***	360,26 (276,96)	0,99	5,86
Bico de Ouro <sup>CP/</sup>	1,70 (0,86)***	101,30 (3,94)***	537,89 (50,05)***	148,01 (36,18)	0,77	15,08
Moyashi <sup>M/</sup>	3,37 (0,74)***	97,04 (3,91)***	247,20 (18,48)***	128,74 (21,82)	0,96	8,43

<sup>C/</sup> Carioca, <sup>P/</sup> Preto, <sup>E/</sup> Especial, <sup>CP/</sup> Caupi (*Vigna unguiculata*) e <sup>M/</sup> Mungo (*Vigna radiata*);

<sup>1/</sup> Valores entre parênteses indicam o erro padrão;

\*, \*\* e \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade de erro respectivamente;

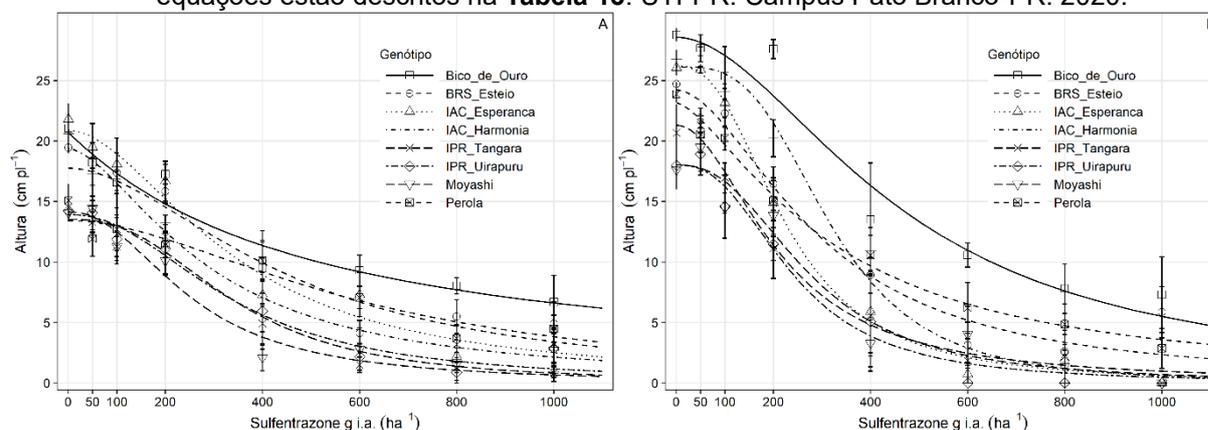
<sup>ns</sup> = não significativo.

O *LD*<sub>50</sub> aos 28 DAA dos genótipos Bico de Ouro, Pérola, IAC Harmonia e BRS Esteio foram superiores a 400 g i.a. ha<sup>-1</sup>, enquanto que os demais responderam

com valores inferiores a 300 g i.a. ha<sup>-1</sup>, indicando elevada variabilidade de TR entre estes genótipos. Os valores de  $LD_{10}$  variaram entre 59,70 (IPR Uirapuru) e 360,26 (IAC Harmonia) aos 28 DAA, e essas diferenças entre genótipos podem ser consideradas menores do que as de  $LD_{50}$ . Destaca-se que o genótipo IAC Harmonia, apresentou elevada TR em dose de até 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone, porém a partir da dose de 600 g i.a. ha<sup>-1</sup> a TR decresceu abruptamente, de modo similar aos genótipos mais sensíveis (**Figura 4**). Este fato, exemplifica a relação existente entre capacidade de tolerância da cultura e dose de aplicação (TIND *et al.* 2009).

De modo similar ao observado para a variável TR, a altura (ALT) dos genótipos de feijão foi mais afetada pela aplicação de doses crescentes de sulfentrazone aos 28 DAA (**Figura 5B**). O impacto negativo na ALT dos genótipos pela aplicação do herbicida também foi mais expressivo em doses superiores a 200 g i.a. ha<sup>-1</sup>. A redução média da variável ALT na dose de 200 g i.a. ha<sup>-1</sup> aos 28 DAA foi de 30% enquanto que a dose de 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> proporcionou 86% de redução média. A redução de altura observada por Taziar *et al.* (2016b) para sulfentrazone no feijoeiro foi de 18% para 410 g i.a. ha<sup>-1</sup> (28 DAA). Diferentemente, Hekmat *et al.* (2007) não observou redução de altura em genótipos de feijão na dose de 840 g i.a. ha<sup>-1</sup> deste herbicida, aos 28 DAA. No presente estudo, para 600 g i.a. de sulfentrazone, a ALT dos genótipos foi reduzida em média em 86%. Fernandes *et al.* (2011) observou redução de 36% de altura para o cultivar Jalo Precoce na mesma dose do herbicida aos 25 dias após a emergência da cultura.

**Figura 5** – Altura (cm) de genótipos de feijão submetidos a aplicação de sulfentrazone aos 14 (A) e 28 (B) dias após a aplicação do herbicida. A posição dos símbolos representa a média de cada genótipo e as barras correspondem ao erro padrão da média. Os parâmetros das equações estão descritos na **Tabela 13**. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.



De modo geral, os genótipos Bico de Ouro e Pérola tiveram ALT menos afetada que os demais por sulfentrazone (**Figura 5A** e **Figura 5B**). A aplicação de 1000 g i.a. ha<sup>-1</sup> aos 28 DAA proporcionou redução de 75 e 88% de ALT para Bico de Ouro e Pérola, respectivamente, enquanto que para os demais genótipos a dose de 600 g i.a. ha<sup>-1</sup> já foi capaz de gerar reduções superiores a 85%. A dose necessária para redução de 50 (ALT<sub>50</sub>) e 10% (ALT<sub>10</sub>) da ALT aos 14 DAA (**Tabela 13**) indicou a maior sensibilidade dos genótipos Moyashi (ALT<sub>50</sub> = 252,63 e ALT<sub>10</sub> = 92,64) e IAC Harmonia (ALT<sub>50</sub> = 286,09 e ALT<sub>10</sub> = 76,84), o inverso do observado para Pérola (ALT<sub>50</sub> = 608,01 e ALT<sub>10</sub> = 185,37). Aos 28 DAA, os genótipos Moyashi e IAC Harmonia não foram os mais sensíveis, indicando maior avanço de injúria de outros genótipos, como ocorreu para IPR Tangará (ALT<sub>50</sub> = 214,31 e ALT<sub>10</sub> = 70,75), e recuperação das plantas em estatura, como o visualizado para IAC Harmonia (ALT<sub>50</sub> = 318,24 e ALT<sub>10</sub> = 163,25).

**Tabela 13** - Parâmetros da equação, dose necessária para proporcionar 10% de redução da ALT (ALT<sub>10</sub>), coeficiente de determinação ajustado (R<sup>2</sup>) e raiz do quadrado médio do erro (RQME) para a variável altura (ALT) aos 14 e 28 dias após a aplicação de sulfentrazone em oito genótipos de feijão. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.

Genótipo	14 dias após a aplicação (DAA)					
	Parâmetros da equação			ALT <sub>10</sub>	R <sup>2</sup>	RQME
	b	d	ALT <sub>50</sub> (e)			
IPR Tangará <sup>C/</sup>	2,57 (0,96) ***	13,52 (1,00) ***	343,13 (54,01) ***	145,73 (61,65)	0,84	2,25
Pérola <sup>C/</sup>	1,85 (0,91) *	13,42 (1,12) ***	608,01 (107,48) ***	185,37 (127,96)	0,65	2,62
BRS Esteio <sup>P/</sup>	1,83 (0,48) ***	17,76 (1,04) ***	455,47 (61,34) ***	137,17 (53,94)	0,74	3,18
IPR Uirapuru <sup>P/</sup>	2,20 (0,72) **	13,91 (1,10) ***	334,65 (60,65) ***	123,01 (56,50)	0,70	3,31
IAC Esperança <sup>E/</sup>	1,85 (0,38) ***	20,88 (1,15) ***	341,32 (45,63) ***	104,30 (35,05)	0,79	3,66
IAC Harmonia <sup>E/</sup>	1,67 (0,40) ***	19,36 (1,40) ***	286,09 (53,64) ***	76,84 (35,93)	0,85	2,80
Bico de Ouro <sup>CP/</sup>	1,04 (0,25) ***	20,68 (1,40) ***	484,09 (96,98) ***	58,89 (36,90)	0,69	3,29
Moyashi <sup>M/</sup>	2,19 (0,69) **	14,14 (1,16) ***	252,63 (45,81) ***	92,64 (40,27)	0,92	2,62
Genótipo	28 dias após a aplicação (DAA)					
	Parâmetros da equação			ALT <sub>10</sub>	R <sup>2</sup>	RQME
	b	d	ALT <sub>50</sub> (e)			
IPR Tangará <sup>C/</sup>	1,98 (0,39) ***	22,04 (1,42) ***	214,31 (32,73) ***	70,75 (22,08)	0,84	3,48
Pérola <sup>C/</sup>	1,49 (0,31) ***	23,16 (1,55) ***	319,51 (56,57) ***	73,18 (32,11)	0,87	2,91
BRS Esteio <sup>P/</sup>	1,83 (0,36) ***	24,21 (1,38) ***	294,57 (39,91) ***	88,77 (29,19)	0,86	3,39
IPR Uirapuru <sup>P/</sup>	2,53 (0,68) ***	18,02 (1,35) ***	239,47 (39,61) ***	100,44 (34,95)	0,77	4,15
IAC Esperança <sup>E/</sup>	2,50 (0,46) ***	26,21 (1,30) ***	226,14 (23,62) ***	93,95 (20,71)	0,92	3,12
IAC Harmonia <sup>E/</sup>	3,29 (0,70) ***	26,12 (1,19) ***	318,24 (33,76) ***	163,25 (37,05)	0,96	2,46
Bico de Ouro <sup>CP/</sup>	1,88 (0,32) ***	24,58 (1,17) ***	465,44 (43,58) ***	144,49 (35,99)	0,77	4,77
Moyashi <sup>M/</sup>	2,48 (0,73) ***	18,02 (1,28) ***	274,53 (41,78) ***	113,12 (32,11)	0,84	3,13

<sup>C/</sup> Carioca, <sup>P/</sup> Preto, <sup>E/</sup> Especial, <sup>CP/</sup> Caupi (*Vigna unguiculata*) e <sup>M/</sup> Mungo (*Vigna radiata*);

<sup>1/</sup> Valores entre parênteses indicam o erro padrão;

\*, \*\* e \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade de erro respectivamente;

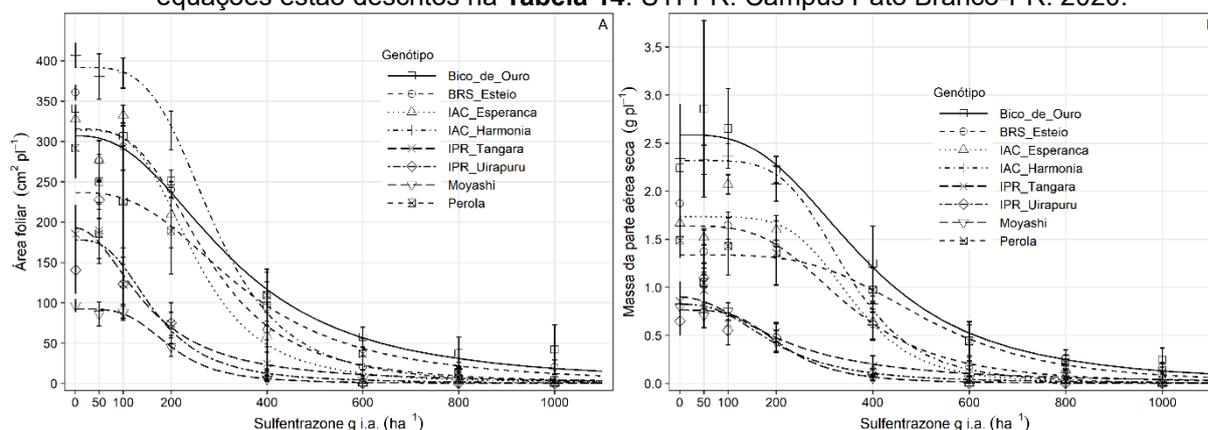
<sup>ns</sup> = não significativo.

Para a variável área foliar (AF), doses menores, como 100 e 200 g i.a. ha<sup>-1</sup> resultaram em diferenças expressivas entre genótipos, como visualizado pela

inclinação das curvas (**Figura 6A**) e pelo parâmetro **b** (**Tabela 14**). O genótipo IPR Tangará, foi reduzido em 60% pela aplicação de 200 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone, enquanto que Moyashi, Bico de Ouro, IAC Harmonia sofreram redução inferior a 25% para a mesma dose do herbicida. A aplicação de 600 g i.a. ha<sup>-1</sup> reduziu em mais de 85% a AF dos genótipos IAC Harmonia, IAC Esperança, IPR Uirapuru, IPR Tangará e BRS Esteio.

De acordo com a dose necessária para redução de 50 ( $AF_{50}$ ) e 10% ( $AF_{10}$ ) da área foliar, os genótipos mais sensíveis foram IPR Tangará ( $AF_{50} = 150,92$  e  $AF_{10} = 51,49$ ) e IPR Uirapuru ( $AF_{50} = 166,54$  e  $AF_{10} = 78,93$ ), enquanto que os menos afetados foram Pérola ( $AF_{50} = 348,84$  e  $AF_{10} = 157,53$ ) e Bico de Ouro ( $AF_{50} = 382,46$  e  $AF_{10} = 134,02$ ).

**Figura 6** – Área foliar (cm<sup>2</sup> pl<sup>-1</sup>) (A) e massa da parte aérea seca (g pl<sup>-1</sup>) (B) de genótipos de feijão submetidos a aplicação de sulfentrazone. A posição dos símbolos representa a média de cada genótipo e as barras correspondem ao erro padrão da média. Os parâmetros das equações estão descritos na **Tabela 14**. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.



A massa seca da parte aérea (MSPA) foi a variável mais influenciada pela aplicação de sulfentrazone (**Figura 6B**), tendo em vista a taxa de decréscimo (parâmetro **b**) das equações ajustadas (**Tabela 14**). A aplicação de 200 e 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> resultaram em redução média da variável de 14% e 60%, respectivamente. Taziar *et al.* (2016b) descreveram redução média de 6%, 11% e 28% da MSPA para 210, 280 e 420 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone aos 21 DAA. Em contraste, Hekmat *et al.* (2007) não obtiveram redução de MSPA dos genótipos avaliados para 420 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone aos 42 DAA, apenas havendo redução de MSPA em 840 g i.a. ha<sup>-1</sup> (de no máximo 40%). A partir de 600 g i.a. ha<sup>-1</sup> do herbicida, a redução média da MSPA dos genótipos foi de 90% (**Figura 6B**). Para o cultivar Jalo Precoco, Fernandes *et al.*

(2011) observou que, aos 25 dias após a emergência da cultura, houve redução de 58% da MSPA para 600 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone.

Os valores de  $GR_{50}$  /  $GR_{10}$  (**Tabela 14**) variaram de 199,82 / 89,03 (IPR Uirapuru) a 511,30 / 294,87 (Pérola). Foram observados dois comportamentos entre genótipos considerando o  $GR_{50}$ , daqueles com valores superiores a 300 g i.a. ha<sup>-1</sup> (Bico de ouro, BRS Esteio, IAC Esperança, IAC Harmonia e Pérola) e inferiores a esta dose (IPR Uirapuru, IPR Tangará e Moyashi).

**Tabela 14** – Parâmetros da equação, dose necessária para proporcionar 10% de redução de AF ( $AF_{10}$ ) e MSPA ( $GR_{10}$ ), coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ) e raiz do quadrado médio do erro (RQME) para as variáveis área foliar e massa da parte aérea seca (MPAS), aos 28 dias após a aplicação de sulfentrazone em oito genótipos de feijão. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.

Genótipo	Área foliar (AF)					$R^2$	RQME
	Parâmetros da equação			$AF_{10}$			
	b	d	$AF_{50}$ (e)				
IPR Tangará <sup>C/</sup>	2,04 (0,62) **	192,62 (20,47) ***	150,92 (33,98) ***	51,49 (22,77)	0,76	40,42	
Pérola <sup>C/</sup>	2,77 (0,94) **	236,61 (16,45) ***	348,84 (56,20) ***	157,53 (63,03)	0,60	75,78	
BRS Esteio <sup>P/</sup>	3,28 (0,82) ***	315,75 (15,45) **	274,53 (26,58) ***	140,60 (31,38)	0,92	39,10	
IPR Uirapuru <sup>P/</sup>	2,94 (0,92) **	178,06 (17,51) ***	166,54 (31,99) ***	78,93 (26,14)	0,70	48,8	
IAC Esperança <sup>E/</sup>	3,65 (0,78) ***	314,29 (14,50) ***	250,05 (22,47) ***	136,85 (21,57)	0,90	47,07	
IAC Harmonia <sup>E/</sup>	3,93 (0,68) ***	391,92 (14,36) ***	290,88 (21,94) ***	166,20 (23,87)	0,96	35,51	
Bico de Ouro <sup>CP/</sup>	2,46 (0,56) ***	307,10 (15,57) ***	327,40 (35,22) ***	134,02 (35,82)	0,83	52,39	
Moyashi <sup>M/</sup>	3,81 (4,84) ns	92,44 (16,28) ***	198,13 (54,79) ***	11,97 (95,50)	0,88	14,72	

Genótipo	Massa seca da parte aérea (MSPA)					$R^2$	RQME
	Parâmetros da equação			$GR_{10}$			
	b	d	$GR_{50}$ (e)				
IPR Tangará <sup>C/</sup>	1,97 (01,03) *	0,90 (0,16) ***	211,25 (89,17) *	69,66 (59,21)	0,66	0,24	
Pérola <sup>C/</sup>	4,00 (1,63) *	1,34 (0,10) ***	511,30 (63,78) ***	294,87 (82,90)	0,58	0,42	
BRS Esteio <sup>P/</sup>	3,59 (1,49) *	1,64 (0,12) ***	348,44 (49,85) ***	188,88 (64,68)	0,86	0,27	
IPR Uirapuru <sup>P/</sup>	2,72 (1,61) *	0,82 (0,15) ***	199,82 (75,55) **	89,03 (62,97)	0,69	0,23	
IAC Esperança <sup>E/</sup>	5,35 (3,65) ns	1,73 (0,11) ***	357,26 (50,00) ***	237,02 (94,01)	0,89	0,26	
IAC Harmonia <sup>E/</sup>	4,93 (2,19) *	2,32 (0,12) ***	345,58 (42,13) ***	221,21 (67,15)	0,97	0,20	
Bico de Ouro <sup>CP/</sup>	3,28 (0,67) ***	2,59 (0,12) ***	382,46 (35,58) ***	186,34 (40,18)	0,58	0,86	
Moyashi <sup>M/</sup>	3,84 (4,54) ns	0,76 (0,13) ***	216,54 (61,19) ***	112,86 (87,88)	0,93	0,23	

<sup>C/</sup> Carioca, <sup>P/</sup> Preto, <sup>E/</sup> Especial, <sup>CP/</sup> Caupi (*Vigna unguiculata*) e <sup>M/</sup> Mungo (*Vigna radiata*);

<sup>1/</sup> Valores entre parênteses indicam o erro padrão;

\*, \*\* e \*\*\* significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade de erro respectivamente;

ns = não significativo.

De acordo com os dados de  $LD_{50}$  /  $LD_{10}$  e  $GR_{50}$  /  $GR_{10}$  foram calculados o fator de tolerância ( $FT$ ) para as variáveis TR (28 DAA) e MSPA (**Tabela 15**), por meio do quociente entre os valores dos genótipos e o genótipo mais sensível. O genótipo mais sensível utilizado para o cálculo foi IPR Uirapuru, que de modo geral apresentou menores valores de  $LD_{50}$  /  $LD_{10}$  (**Tabela 12**) e  $GR_{50}$  /  $GR_{10}$  (**Tabela 14**).

Maior variação entre  $FT$  foi determinada para a variável TR, sendo Bico de Ouro o genótipo com maior  $FT - LD_{50}$  (3,00) e IAC Harmonia com o maior  $FT - LD_{10}$  (6,03). O genótipo Pérola apresentou os maiores  $FT - GR_{50}$  e  $FT - GR_{10}$ , com

valores de 2,56 e 3,31, respectivamente. Os resultados apresentados na **Tabela 15** demonstram que o nível de tolerância de genótipos pode variar de acordo com a faixa de doses de sulfentrazone utilizada, visto o comportamento de IAC Harmonia e Bico de Ouro. Deste modo, IAC Harmonia apresentou maior fator de tolerância para  $LD_{10}$  e  $GR_{10}$ , enquanto que Bico de Ouro teve maior fator de tolerância para  $LD_{50}$  e  $GR_{50}$ .

**Tabela 15** – Fatores de tolerância (FT) para as variáveis TR ( $FT - LD_{50}$  e  $FT - LD_{20}$ ) e MSPA ( $FT - GR_{50}$  e  $FT - GR_{10}$ ) aos 28 dias após a aplicação de sulfentrazone em oito genótipos de feijão. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.

Genótipo	Fator de tolerância (FT)			
	$FT - LD_{50}$	$FT - LD_{10}$	$FT - GR_{50}$	$FT - GR_{10}$
IPR Tangará <sup>C/</sup>	1,20	1,36	1,05	0,78
Pérola <sup>C/</sup>	2,72	3,90	2,56	3,31
BRS Esteio <sup>P/</sup>	2,28	3,56	1,74	2,12
IPR Uirapuru <sup>P/</sup>	-	-	-	-
IAC Esperança <sup>E/</sup>	1,58	2,40	1,79	2,66
IAC Harmonia <sup>E/</sup>	2,27	6,03	1,73	2,48
Bico de Ouro <sup>CP/</sup>	3,00	2,48	1,91	2,09
Moyashi <sup>M/</sup>	1,38	2,16	1,08	1,27

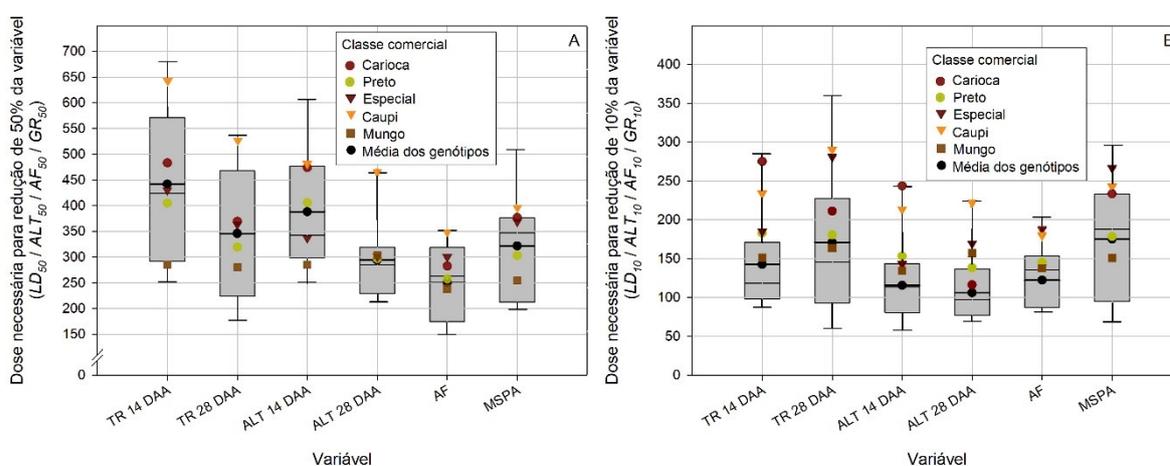
<sup>C/</sup> Carioca, <sup>P/</sup> Preto, <sup>E/</sup> Especial, <sup>CP/</sup> Caupi (*Vigna unguiculata*) e <sup>M/</sup> Mungo (*Vigna radiata*).

Os fatores de tolerância indicaram a predominância de genótipos de feijão-comum de semente média/grande entre os mais tolerantes (Pérola, IAC Harmonia) e os de semente pequena entre os mais sensíveis (IPR Tangará e IPR Uirapuru). Dentre os genótipos do gênero *Vigna* spp., Bico de Ouro (*V. unguiculata*) demonstrou elevada tolerância enquanto que Moyashi respondeu de forma intermediária. A elevada tolerância de *V. unguiculata* a sulfentrazone já foi discutida na literatura, com pouco efeito observado nas plantas em doses de 500 g i.a. ha<sup>-1</sup> (FONTES *et al.*, 2013) e 600 g i.a. ha<sup>-1</sup> (COSTA *et al.*, 2017). Estes resultados corroboram com os níveis de tolerância obtidos via índice de tolerância e sensibilidade (Seção 4.1, **Tabela 11**). A resposta intermediária de BRS Esteio (tegumento preto), verificada no presente estudo, também foi corroborada na análise de ITH e ISH (**Tabela 11**), embora a grande maioria dos genótipos de tegumento preto tenham sido agrupados dentre os mais sensíveis ao herbicida. De modo geral, houve maiores diferenças de tolerância de genótipos de diferentes classes comerciais e dentro da mesma classe, mas em menor magnitude entre classes comerciais.

Na **Figura 7** é apresentada a dispersão dos valores necessários para redução de 50% (**Figura 7A**) e 10% (**Figura 7B**) de todas as variáveis avaliadas. De

acordo com os valores médios de  $LD_{50}$ ,  $ALT_{50}$ ,  $AF_{50}$  e  $GR_{50}$  (**Figura 7A**) pode-se concluir que doses entre 250 (área foliar) e 450 g i.a. ha<sup>-1</sup> (TR 14 DAA) geram danos expressivos no desenvolvimento inicial das plantas de feijoeiro. Também se observa a elevação da injúria e redução de altura nas avaliações mais tardias, com diferenças de  $LD_{50}$  e  $ALT_{50}$  entre os 14 e 28 DAA de 96 e 138 g i.a. ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Figura 7** – Boxplot das doses necessárias de sulfentrazone para reduzir 50% (A) e 10% (B) da tolerância relativa (TR aos 14 e 28 DAA), altura (ALT aos 14 e 28 DAA), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) de classes comerciais de feijão. O ponto preto representa a média geométrica dos genótipos. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.



\*O círculo preto (●) representa a média geométrica dos genótipos. Os demais símbolos representam o valor médio de genótipos de classe comercial carioca, preto, especial, além de *Vigna unguiculata* e *Vigna radiata*.

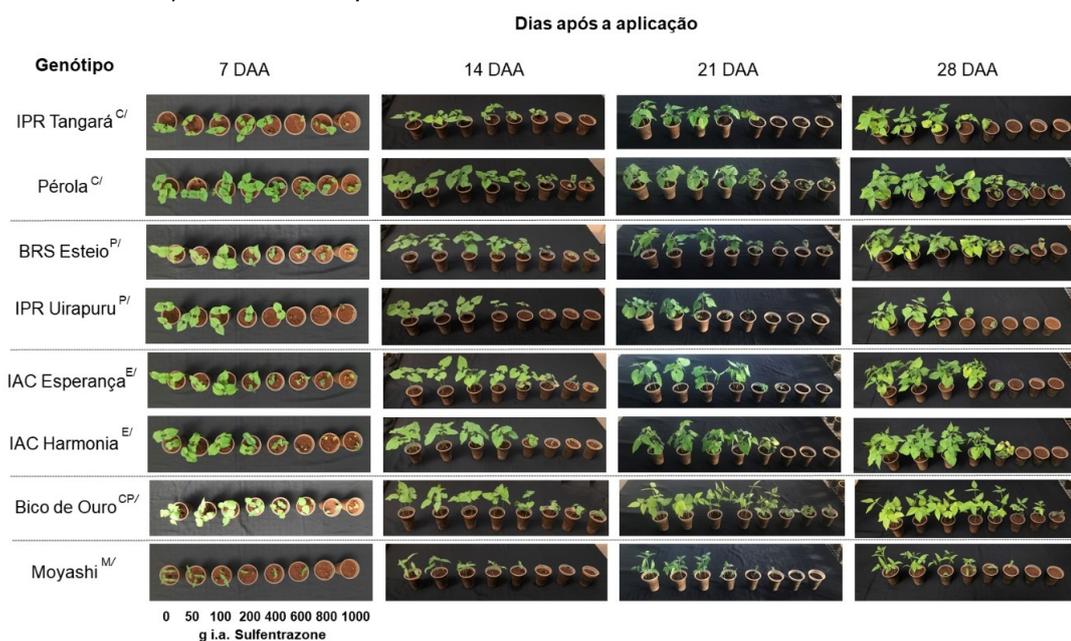
A diferença de  $ALT_{10}$  entre 14 e 28 DAA (**Figura 7B**) foi muito inferior ao anteriormente descrito para  $ALT_{50}$  (10 g i.a. ha<sup>-1</sup>). Por outro lado, para a variável TR com o passar do tempo entre as avaliações o valor médio de  $LD_{10}$  foi incrementado (28 g i.a. ha<sup>-1</sup>), indicando que as plantas apresentaram sinais de recuperação em doses menores que 400 g i.a. ha<sup>-1</sup>. Considerando que doses que ocasionam redução máxima de 10% no desenvolvimento inicial das plantas são seletivas a cultura (RITZ *et al.*, 2006), a aplicação de doses entre 100 e 200 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone (**Figura 7B**) em solo argiloso mostraram-se promissoras quanto ao uso no feijoeiro, considerando as condições experimentais.

De modo geral, genótipos de feijão-comum da classe comercial preto foram mais sensíveis ao herbicida que especiais e principalmente carioca (**Figura 7**). Em doses mais elevadas do herbicida, necessárias para redução de 50% das variáveis (**Figura 7A**), foi visualizada maior diferença de comportamento entre as

classes comerciais de *P. vulgaris*, em que genótipos cariocas tiveram variáveis afetadas em doses mais elevadas do herbicida, indicando maior tolerância.

Estudos avaliando o uso de sulfentrazone a campo na cultura do feijoeiro, (HEKMAT *et al.*, 2007) descreveram que doses superiores a 420 g i.a. ha<sup>-1</sup> resultaram em elevada injúria, redução de biomassa e até mesmo perda de estande. Entretanto, os mesmos descreveram que essa dose permitiu a recuperação das injúrias observadas inicialmente, sem refletir em prejuízos no rendimento de grãos. De acordo com estudos realizados (SOLTANI, SHROPSHIRE, SIKKEMA, 2014; TAZIAR *et al.*, 2016a; TAZIAR *et al.*, 2016b), a aplicação de 140 g i.a. ha<sup>-1</sup> e 210 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone foi seletivo a diferentes classes comerciais de feijão, além de apresentarem eficiência no controle de infestantes (LI *et al.*, 2017; TAZIAR *et al.*, 2017). Estes resultados descritos na literatura vão de encontro com as informações obtidas no presente estudo, visto que foram caracterizadas doses mais seletivas entre 100 e 200 g i.a. ha<sup>-1</sup> (**Figura 7B**), enquanto que doses próximas a 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> ocasionaram redução maior que 50% das variáveis avaliadas (**Figura 7A**). O efeito da aplicação das doses crescentes de sulfentrazone aplicadas nos genótipos de feijão ao longo do experimento é ilustrado na **Figura 8**.

**Figura 8** – Resposta de genótipos de feijão à aplicação em pré-emergência de sulfentrazone (0, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1000 g i.a. ha<sup>-1</sup>) aos 7, 14 e 21 e 28 dias após a aplicação (DAA). C/ Carioca, P/ Preto, E/ Especial, CP/ Caupi (*Vigna unguiculata*) e M/ Mungo (*Vigna radiata*). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.



De modo geral, com o estudo de curva de dose-resposta e determinação dos *FT's* dos genótipos a sulfentrazone foram caracterizados diferentes níveis de tolerância, em que: Pérola e Bico de Ouro > IAC Harmonia e BRS Esteio > IAC Esperança e Moyashi > IPR Tangará e IPR Uirapuru. Considerando as classes comerciais de feijão-comum, os níveis de tolerância observados foram: carioca > especial > preto. A espécie *V. unguiculata* demonstrou maior capacidade de tolerância do que o feijoeiro-comum, enquanto que *V. radiata* foi mais sensível, com comportamento semelhante a média dos genótipos de tegumento preto. Foram observadas maiores diferenças de tolerância entre genótipos a partir de 400 g i.a. ha<sup>-1</sup>, que causaram injúrias pronunciadas nas plantas (acima de 50%) e que doses em torno de 100 a 200 g i.a. ha<sup>-1</sup> causam redução de aproximadamente 10% das variáveis avaliadas.

#### 4.3 RESPOSTA DE DIFERENTES CLASSES COMERCIAIS DE FEIJÃO A SULFENTRAZONE

O modelo linear misto completo (*m0*) gerou melhor ajuste das variáveis, sendo que para a grande maioria das variáveis houve diferença entre a utilização ou não de ano (*1 | Ano*) como efeito aleatório (modelo *m1*) (Apêndice 5). Deste modo, a ANOVA das variáveis procedeu-se por meio do modelo *m0*, com exceção de tolerância relativa (TR) aos 28 DAA, altura (ALT) aos 14 DAA, conteúdo de clorofila total (CCT) e umidade de grãos (UMG), em que se utilizou o modelo *m1*, descrito no Apêndice 6.

##### 4.3.1 Avaliações iniciais

A análise estatística evidenciou que para as determinações iniciais (**Tabela 16**), a interação entre herbicida (H) e classe comercial (CC) não foi significativa para estande de plantas (EST) aos 14 dias após a aplicação (DAA), conteúdo de clorofila total (CCT) e massa seca da parte aérea (MSPA). Os desdobramentos das interações de tolerância relativa (TR), altura de plantas (ALT), estande aos 28 DAA e área foliar (AF) estão representados na **Tabela 17**.

A aplicação de sulfentrazone provocou redução média de EST 14 DAA,

CCT e MSPA da ordem de 6%, 6% e 29%, respectivamente, em relação à testemunha (**Tabela 16**). Avaliando o potencial de utilização de clomazone no feijoeiro, Takano *et al.* (2012) observaram que algumas cultivares tiveram teor de clorofila reduzido enquanto outros não foram afetados por doses crescentes do herbicida. Taziar *et al.* (2018b) observou redução média de MSPA de 28% em quatro classes comerciais de feijão submetidos a aplicação de 420 g i.a. ha<sup>-1</sup>. Em contraste, Hekmat *et al.* (2007) não observou diferenças entre a aplicação ou não de 420 g i.a. ha<sup>-1</sup> em feijoeiro.

**Tabela 16** – Valores médios dos efeitos principais e interação das variáveis tolerância relativa (TR), altura (ALT), estande de plantas (EST), conteúdo de clorofila total (CCT), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) de diferentes classes comerciais de feijão submetidos a aplicação de 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone em pré-emergência, na localidade de Pato Branco, em 2019 e 2020. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2021.

Efeitos principais <sup>2/</sup>	Avaliação								
	TR <sup>1/</sup> (%)		ALT (cm pl <sup>-1</sup> )		EST (pl's m)		CCT (Índice Falker)	AF (cm <sup>2</sup> pl <sup>-1</sup> )	MSPA (g pl <sup>-1</sup> )
	14 DAA	28 DAA	14 DAA	28 DAA	14 DAA	28 DAA			
Herbicida	***	***	***	***	*	***	***	***	**
Testemunha	100,0	100,0	14,4	31,3	12,8a	12,4	49,9a	435,3	2,1a
Sulfentrazone	71,0	68,8	12,0	25,6	12,0b	11,0	47,1b	358,1	1,5b
Classe comercial <sup>3/</sup>	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Carioca	81,0	81,2	12,5	28,1	11,7b	11,0	48,0b	416,3	1,7ab
Especial	80,1	77,8	13,9	27,8	12,8ab	11,8	44,7b	473,4	2,0ab
Preto	77,7	75,2	13,6	26,7	11,9b	11,2	46,7b	392,2	1,6b
Mungo	92,0	89,4	10,0	23,5	11,8b	11,1	50,6b	249,5	1,1b
Caupi	96,7	98,4	15,8	36,3	14,5a	13,8	58,8a	452,2	2,4a
Interação H x CC	***	***	***	**	NS	*	NS	*	NS

<sup>1/</sup> Abreviações: DAA: dias após a aplicação do herbicida, H: tratamento herbicida, CC: tratamento classe comercial, NS: não significativo em  $p \leq 0,5$ ;

<sup>2/</sup> Significativo a  $p \leq 0,5$  (\*),  $p \leq 0,1$  (\*\*) e  $p \leq 0,01$  (\*\*\*) pelo teste F, com ANOVA determinada pelo teste de Satterthwaite Tipo III. Os efeitos da interação, quando significativa, estão desdobrados na **Tabela 17**;

<sup>3/</sup> Os resultados obtidos quanto a classe comercial carioca representa os cultivares IPR Tangará e Pérola, da classe preto os cultivares BRS Esteio e IPR Uirapuru e da classe especial os cultivares IAC Harmonia e IAC Esperança. Feijão mungo (*Vigna radiata*) e caupi (*Vigna unguiculata*) foram representados pelos genótipos Moyashi e Bico de Ouro, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a  $p \leq 0,5$ .

O feijão caupi apresentou maiores valores EST aos 14 DAA e CCT que as demais classes comerciais. Não foram observadas diferenças de EST aos 14 DAA e CCT entre as demais classes comerciais. A classe comercial que mais acumulou MSPA foi caupi, que não diferiu de especial e carioca, enquanto que preto e mungo

apresentaram menor biomassa.

Nas avaliações de TR aos 14 e 28 DAA (**Tabela 17**) o feijão caupi foi menos sensível a aplicação de 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone, não havendo diferença significativa de TR entre o tratamento com herbicida e a testemunha aos 28 DAA. De acordo com Fontes, Oliveira e Gonçalves (2010) a aplicação de 600 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone não gerou fitotoxicidade em feijão caupi. Nessa mesma dose, Costa *et al.* (2017) observaram 44% de fitotoxicidade aos 14 DAA, que foi reduzida para 8% aos 21 DAA. As demais classes comerciais, exceto mungo, tiveram TR significativamente afetada pela aplicação de sulfentrazone em ambas datas de avaliação.

**Tabela 17** – Tolerância relativa (TR), altura (ALT) aos 14 e 28 dias após a aplicação (DAA), estande de plantas (EST) aos 28 DAA de diferentes classes comerciais de feijão submetidos a aplicação de 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone em pré-emergência, na localidade de Pato Branco, em 2019 e 2020. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2021.

Tratamento Herbicida	Classe comercial <sup>2/</sup>									
	Carioca		Especial		Preto		Mungo		Caupi	
	<sup>1/</sup> TR 14 DAA (%)									
Testemunha	100,0	Aa	100,0	Aa	100,0	Aa	100,0	Aa	100,0	Aa
Sulfentrazone	61,9	Bb	60,3	Bb	55,3	Bb	83,8	Ba	93,8	Aa
	TR 28 DAA (%)									
Testemunha	100,0	Aa	100,0	Aa	100,0	Aa	100,0	Aa	100,0	Aa
Sulfentrazone	62,5	Bb	55,6	Bcd	50,3	Bd	78,8	Ba	96,9	Aa
	ALT 14 DAA (cm planta <sup>-1</sup> )									
Testemunha	14,3	Ab	16,4	Aa	15,6	Aab	10,0	Ac	15,5	Aab
Sulfentrazone	10,7	Bb	11,4	Bb	11,6	Bb	10,0	Ab	16,1	Aa
	ALT 28 DAA (cm planta <sup>-1</sup> )									
Testemunha	31,2	Aa	33,2	Aa	31,6	Aa	24,0	Ab	36,5	Aa
Sulfentrazone	24,9	Bb	22,4	Bb	21,8	Bb	23,0	Ab	36,0	Aa
	EST 28 DAA (plantas metro)									
Testemunha	11,5	Ab	13,2	Aab	12,3	Aab	11,4	Ab	13,8	Aa
Sulfentrazone	10,4	Ab	10,3	Bb	10,1	Bb	10,7	Ab	13,7	Aa
	AF (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )									
Testemunha	459,6	Aa	534,7	Aa	467,7	Aa	252,3	Ab	464,4	Aa
Sulfentrazone	372,9	Bab	413,1	Ba	317,7	Bb	246,7	Ac	440,1	Aa

<sup>1/</sup> Abreviações: DAA: dias após a aplicação do herbicida.

<sup>2/</sup> Os resultados obtidos quanto a classe comercial carioca representa os cultivares IPR Tangará e Pérola, da classe preto os cultivares BRS Esteio e IPR Uirapuru e da classe especial os cultivares IAC Harmonia e IAC Esperança. Feijão mungo (*Vigna radiata*) e caupi (*Vigna unguiculata*) foram representados pelos genótipos Moyashi e Bico de Ouro, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna ou minúscula na linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a  $p \leq 0.5$  para a aplicação ou não de sulfentrazone e entre classes comerciais, respectivamente.

Com a aplicação de sulfentrazone, a tolerância aos 14 DAA do feijão mungo (83,8%) e caupi (93,8%) foram superiores ao grupo formado por carioca (61,9%), especial (60,3%) e preto (55,3%). O feijão mungo apresenta histórico de boa tolerância de herbicidas pertencentes a vários mecanismos de ação, em aplicações isoladas ou associações de herbicidas. Por exemplo, a aplicação em pré-emergência de pendimethalin (750 g a. i. ha<sup>-1</sup>), pendimethalin + imazethapyr (40 g a. i. ha<sup>-1</sup>) em feijão mungo não gerou fitotoxicidade nas plantas (MAJI *et al.* 2015). Nesse estudo também foi relatado que aplicações em pós-emergência de imazethapyr (40 g a. i. ha<sup>-1</sup>), imazamox (60 g a. i. ha<sup>-1</sup>), imazethapyr + imazamox e a formulação acifluorfen (16,5%) + clodinafop (8%) (125 e 187,5 g i.a. ha<sup>-1</sup>) ocasionaram fitotoxicidade máxima de 10% aos 7 DAA, que não foi mais observada aos 25 DAA. Aos 28 DAA, maiores diferenças de TR foram observadas entre as classes comerciais, em que a classe comercial de tipo preto foi mais sensível ao sulfentrazone. A classe comercial carioca apresentou TR 62,5%, intermediária entre as classes caupi (96,9%) e mungo (78,8%) e entre especial (55,6%) e preto (50,3%).

Maior injúria em genótipos da classe comercial preto, comparada com especiais e carioca foi descrita para flumioxazin (SOLTANI *et al.*, 2005), linuron (SOLTANI *et al.*, 2006), sulfentrazone (HEKMAT *et al.* 2007) e sulfentrazone + imazethapyr (SOLTANI, SHROPSHIRE, SIKKEMA, 2016). De acordo com Hekmat *et al.* (2007), a aplicação de 840 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone aos 28 DAA gerou injúria superior a 30% para o feijão preto (*Black*), rajado (*Cranberry*), vermelho (*Kidney*, *Otebo*), “*White*” e “*Yellow eye*”, enquanto que a classe carioca não foi afetada.

A ALT aos 14 e 28 DAA do feijão caupi e mungo não foi afetada pela aplicação de sulfentrazone (**Tabela 17**), diferentemente de carioca, especial e preto, que tiveram altura reduzida entre 20 e 32% aos 28 DAA. Hekmat *et al.* (2007) e Taziar *et al.* (2016a) não observaram diferenças entre classes comerciais de feijão-comum para a variável altura quando aplicado sulfentrazone.

O EST aos 28 DAA foi reduzido nas classes comerciais especial (22%) e preto (18%), efeito não constatado para carioca, mungo e caupi. Investigando a tolerância de cultivares de feijão-comum a saflufenacil, Diesel *et al.* (2014) verificaram que dos dez materiais testados, apenas BRSMG Talismã, da classe comercial carioca, não teve estande diminuído com aplicação 14,7 g i.a. ha<sup>-1</sup>, enquanto que os demais

tiveram esta variável reduzida em mais de 25% aos 28 DAA.

A área foliar (AF) dos feijões caupi e mungo também não foram afetados pela aplicação de sulfentrazone. A AF do feijão de tipo preto foi a mais negativamente impactada, com redução de 32%. Feijão carioca e especial tiveram AF reduzida em 19 e 23%, respectivamente, pela aplicação de sulfentrazone.

Portanto, as determinações iniciais indicaram a maior sensibilidade da classe preto à sulfentrazone comparada com as demais, que apresentou as maiores reduções de TR (50%), de altura (31%) e área foliar (32%), além de 18% de redução de estande aos 28 DAA. De modo inverso, caupi e mungo não foram afetados em nenhum dos parâmetros avaliados.

#### 4.3.2 Avaliações finais

O efeito da interação foi significativo apenas para as variáveis estande final (ESTF) e umidade de grãos (UMG) (**Tabela 18**), sendo que os desdobramentos da interação estão descritos na **Tabela 19**.

A altura final de plantas (ALTF) foi reduzida em 10% pela aplicação de sulfentrazone independentemente das classes comerciais, diferentemente do observado para ALT aos 14 e 28 DAA (**Tabela 17**), em que a resposta das classes comerciais variou em tratamentos com e sem herbicida.

O diâmetro do colmo (DMC) teve acréscimo de 6% em tratamentos com aplicação de sulfentrazone comparado com a testemunha sem aplicação. De modo similar, Simão e Casimiro (2017) verificaram na soja aumento do diâmetro do caule com aplicação de sulfentrazone (600 g i.a. ha<sup>-1</sup>) em relação a testemunha sem aplicação, embora a altura de plantas não tenha sido afetada. Alves *et al.* (2018) descreveram que o incremento de doses de sulfentrazone (0, 300, 600 e 1200 g i.a. ha<sup>-1</sup>) em tremoço (*Lupinus albus*), nabo (*Raphanus sativus*) e cornichão (*Lotus corniculatus*) resultou em aumento do diâmetro do caule das plantas, o que não ocorreu para aveia preta (*Avena sativa*) e ervilhaca (*Vicia sativa*). Já, Araújo Neto *et al.* (2019), não observaram alteração no diâmetro do colmo de eucalipto para a aplicação de até 1000 g i.a. ha<sup>-1</sup> sulfentrazone via água de irrigação, mesmo sendo relatado injúria superior a 40%.

**Tabela 18** – Valores médios dos efeitos principais e interação das variáveis estande final (ESTF), altura final (ALTF), diâmetro do colmo (DMC), número de ramos por planta (NRP), número de vagens por planta (NVP) massa de mil grãos (MMG), umidade de grãos (UMG) e rendimento de grãos (RG) de diferentes classes comerciais de feijão submetidos a aplicação de 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone em pré-emergência, na localidade de Pato Branco, em 2019 e 2020. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2021.

Efeitos principais <sup>2/</sup>	Avaliação								
	ESTF <sup>1/</sup>	ALTF	DMC	NRP	NVP	NGV	MMG	UMG	RG
	pl m	cm pl <sup>-1</sup>	mm	ramo pl <sup>-1</sup>	vage m pl <sup>-1</sup>	grão vagem <sup>-1</sup>	g mil grãos <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>
Herbicida	***	***	***	***	*	NS	NS	***	NS
Testemunha	10,3	74,9a	6,4b	4,7b	14,3b	5,9	249,1a	16,0	1728,9
Sulfentrazone	9,1	67,3b	6,8a	5,2a	16,7a	6,0	256,6a	17,5	1744,7
Classe comercial <sup>3/</sup>	***	**	***	***	***	***	***	**	***
Carioca	8,0	80,2b	6,7b	6,1a	20,6a	5,4c	269,9b	19,6	2092,0b
Especial	9,9	56,3d	5,3b	5,0b	13,6b	3,4d	374,7a	19,45	1192,6c
Preto	8,5	68,5c	6,46b	4,9b	16,5b	5,7c	244,9c	17,5	2782,8a
Mungo	10,1	50,6e	6,1bc	4,5b	17,2b	8,9b	75,5e	14,1	934,2cd
Caupi	12,0	108,0a	9,8a	3,5a	5,47c	9,9a	168,3d	13,1	739,5d
Interação H x CC	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS

<sup>1/</sup> Abreviações: DAA: dias após a aplicação do herbicida, H: tratamento herbicida, CC: tratamento classe comercial, NS: não significativo em  $p \leq 0,5$ ;

<sup>2/</sup> Significativo a  $p \leq 0,5$  (\*),  $p \leq 0,1$  (\*\*) e  $p \leq 0,01$  (\*\*\*) pelo teste F, com ANOVA determinada pelo teste de Satterthwaite Tipo III. Os efeitos da interação, quando significativa, estão desdobrados na **Tabela 19**;

<sup>3/</sup> Os resultados obtidos quanto a classe comercial carioca representa os cultivares IPR Tangará e Pérola, da classe preto os cultivares BRS Esteio e IPR Uirapuru e da classe especial os cultivares IAC Harmonia e IAC Esperança. Feijão mungo (*Vigna radiata*) e caupi (*Vigna unguiculata*) foram representados pelos genótipos Moyashi e Bico de Ouro, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a  $p \leq 0,5$ .

O feijão caupi apresentou maiores médias de ESTF, ALTF, DMC e NGV que as demais classes comerciais. Maiores valores de NGV nessa classe de feijão é justificada pelo comprimento das vagens, muito superior ao encontrado nas demais classes comerciais. Porém para as variáveis NRP e NVP do feijão caupi teve as menores médias dentre todas as classes, indicando que o alto desenvolvimento vegetativo da espécie (ALTF e avaliações iniciais (**Tabela 16**)) não necessariamente acarreta em vantagens relacionadas a características reprodutivas, como maior ramificação e logo acréscimo no total de vagens planta<sup>-1</sup>. É importante destacar também que é comum a compensação entre componentes do rendimento, e, portanto, o fato do feijão caupi apresentar maior NGV e menor NVP. Esse efeito compensatório também é observado no feijão mungo, que apresenta valores intermediários de NGV

e NVP, porém valores muito baixos de MMG. O feijão carioca apresentou as maiores médias de NRP e NVP dentre as classes comerciais, que pode ter ligação com o fato de ser o principal alvo dos programas de melhoramento genético, por ser a classe de feijão mais consumida no país. Além disso, a classe carioca demonstrou TR superior as demais classes de feijão-comum (especial e preto) nas avaliações iniciais (**Tabela 17**).

Do mesmo modo que observado para a avaliação de estande aos 28 DAA, o estande final (ESTF) das classes caupi, mungo e carioca não foi afetado por sulfentrazone, no entanto o ESTF foi reduzido em 17 e 10% nas classes especial e preto, respectivamente (**Tabela 19**). Na média de todas as classes, a umidade de grãos (UMG) foi acrescida em 1,5% quando aplicado sulfentrazone (**Tabela 18**). Na **Tabela 19** é possível observar que as classes caupi e mungo não tiveram a UMG afetada pela aplicação do herbicida, sendo este acréscimo na UMG específico nas classes de feijão-comum.

**Tabela 19** – Estande final de plantas (ESTF) e umidade de grãos (UMG) de diferentes classes comerciais de feijão submetidos a aplicação de 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone em pré-emergência, na localidade de Pato Branco, em 2019 e 2020. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2021.

Tratamento Herbicida	Classe comercial <sup>2/</sup>									
	Carioca	Especial	Preto	Mungo	Caupi					
	ESTF <sup>1/</sup> (plantas metro)									
Testemunha	8,31	Ac	10,8	Aab	9,7	Abc	10,6	Ac	12,3	Aa
Sulfentrazone	7,72	Ac	9,0	Bbc	7,4	Bbc	9,6	Aab	11,6	Aa
	UMG (%)									
Testemunha	18,2	Aa	17,6	Aa	16,1	Aab	14,7	Ab	13,2	Ab
Sulfentrazone	20,9	Ba	21,3	Ba	18,9	Ba	13,5	Ab	13,0	Ab

<sup>1/</sup> Abreviações: ESTF: estande final, UMG: umidade de grãos.

<sup>2/</sup> Os resultados obtidos quanto a classe comercial carioca representa os cultivares IPR Tangará e Pérola, da classe preto os cultivares BRS Esteio e IPR Uirapuru e da classe especial os cultivares IAC Harmonia e IAC Esperança. Feijão mungo (*Vigna radiata*) e caupi (*Vigna unguiculata*) foram representados pelos genótipos Moyashi e Bico de Ouro, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna ou minúscula na linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a  $p \leq 0.5$  para a aplicação ou não de sulfentrazone e entre classes comerciais, respectivamente.

A fitotoxicidade gerada pela aplicação do herbicida pode induzir a planta a atraso de maturação e problemas no armazenamento. O atraso na maturação é indiretamente inferido pela maior umidade de grãos (UMG) (SOLTANI, BOWLEY, SIKKEMA, 2005). A aplicação de 420 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone causou aumento da 1,2 % na umidade de grãos em feijão adzuki e diferentes classes de feijão-comum

(Taziar et al. 2016b). Para o herbicida flumioxazin (140 g i.a. ha<sup>-1</sup>), foram detectadas diferenças de umidade de grãos para diferentes classes comerciais comparadas ao controle sem aplicação, em que foram observados incrementos para feijão preto (*Black*) e branco (*White*) de 3,4% e 3,9%, respectivamente, enquanto rajado (*Cranberry*) e vermelho (*Kidney*) não foram afetados (SOLTANI, BOWLEY, SIKKEMA 2005). O atraso na maturação, como indiretamente demonstrado no presente estudo, em casos específicos pode acarretar na necessidade de aplicação de herbicidas dessecantes nas culturas.

Não houve diferenças para o rendimento de grãos (RG) das classes comerciais quando aplicado ou não sulfentrazone (**Tabela 18**). Hekmat *et al.* (2007) também não observou redução significativa do rendimento de grãos de oito classes comerciais canadenses de feijão submetidos a aplicação de 420 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone. Em contraste, nesta mesma dose Taziar et al. (2016b) observaram diferenças de rendimento de grãos entre classes comerciais em ordem de até 29% para o feijão-comum. Resultados similares aos do presente estudo quanto ao rendimento de grãos de feijão caupi à sulfentrazone foram descritos por outros autores (FONTES *et al.*, 2017; COSTA *et al.*, 2017). Em feijão mungo, a aplicação em pré-emergência dos herbicidas acifluorfen, imazamox, imazethapyr, clodinafop e pendimethalin não afetaram o rendimento de grãos (KHAIRNAR, SETHI 2014; MAJI *et al.*, 2020). Tratamentos pós-emergentes de fomesafen, bentazon e halosulfuron, herbicidas com registro de uso para a cultura do feijão no Brasil, também foram seletivos ao feijão mungo (SOLTANI, SHROPSHIRE, SIKKEMA, 2013).

O NRP e o NVP tiveram acréscimo de 11 e 17% com a aplicação de sulfentrazone quando comparados com a testemunha (**Tabela 18**). Este incremento pode relacionar-se com o menor estande de plantas induzido pelo herbicida (**Tabela 18 e Tabela 19**), visto que o desenvolvimento de número de ramos laterais é esperado em menores densidades populacionais de plantas. Quando em menores densidades, o aproveitamento dos recursos do ambiente pelas plantas é maior devido a menor competição entre a cultura por espaço, luminosidade, umidade e nutrientes (BAKRY *et al.*, 2011). Outro aspecto importante relacionado ao NRP é o hábito de crescimento dos genótipos, havendo maior tendência de ramificação em feijoeiro-comum de crescimento indeterminado (origem mesoamericana) do que em genótipos de

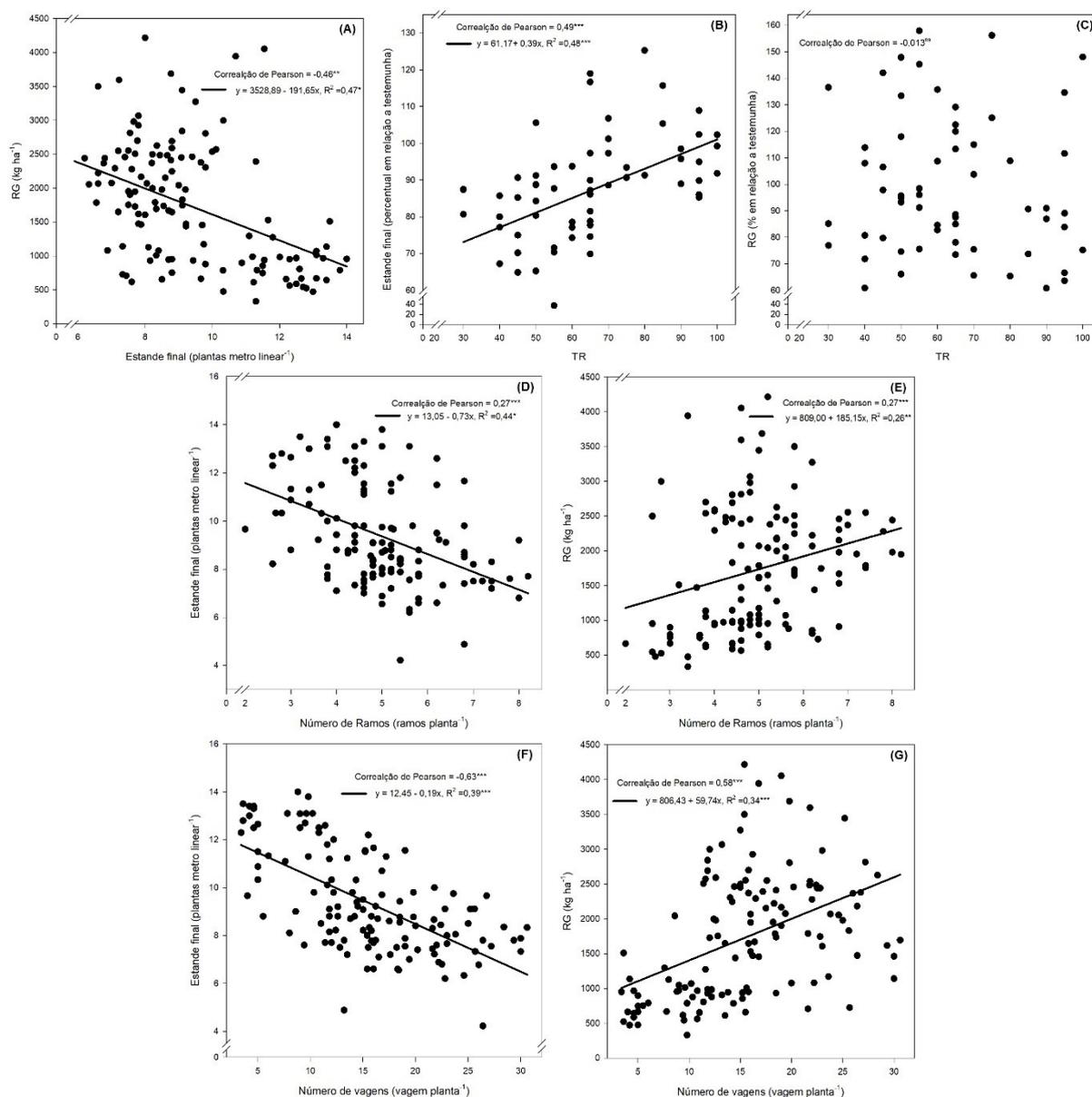
crescimento determinado (origem andinos), como é o caso dos genótipos especiais do presente estudo. Porém, como não houve interação de fatores para essas variáveis, não é possível afirmar que sulfentrazone provocou efeito maior compensatório de NRP e NVP nas classes preto e carioca do que na classe especial.

Considerando o conjunto de dados, a análise de correlação de Pearson (**Figura 9**) demonstra relação inversamente proporcional entre ESTF e RG, sendo que o decréscimo de uma planta no ESTF causou aumento de RG em  $192 \text{ kg ha}^{-1}$  (**Figura 9A**). Também pode ser observado que a TR teve relação direta com o ESTF (**Figura 9B**) mas não com o RG (**Figura 9C**). Isto sugere que tratamentos com alta injúria foram capazes de se recuperar e alcançar produtividade elevada, não diferindo da testemunha, mesmo em menor densidade de plantas. A redução de ESTF induziu ao maior desenvolvimento de NRP (**Figura 9D**) e NVP (**Figura 9F**), que consequentemente impactou positivamente no RG (**Figura 9E** e **Figura 9G**). A correlação de todas as variáveis finais está descrita no Anexo 7.

Estes resultados exemplificam a alta plasticidade do feijoeiro em condições adversas, em que as plantas podem compensar a redução de estande com aumento de outros componentes de rendimento, como NRP e NGV (ALLIG, 2013; TAURIRA, MOSES, 2014). Resultados similares aos observados no presente estudo foram descritos por Arsenijevic *et al.* (2020) na cultura da soja, em que a aplicação de  $280 \text{ g i.a. ha}^{-1}$  de sulfentrazone diminuiu 10% do estande de plantas, aliado a um aumento de 16% de vagens por planta e 3% no rendimento de grãos em relação a testemunha. Também na cultura da soja, Kumar *et al.* (2008) descreveram aumento do NVP e MMG em tratamentos pré-emergentes de acetochlor ( $1500 \text{ g i.a. kg ha}^{-1}$ ) e trifluralin ( $1500 \text{ g i.a. kg ha}^{-1}$ ), mesmo com injúria inicial elevada, de 68% e 61%, respectivamente.

Em suma, sulfentrazone impactou negativamente as classes comerciais em diferentes magnitudes para as variáveis iniciais TR, ALT e EST, além de ESTF e UMG. Os níveis de tolerância de acordo com estas variáveis foram: caupi > mungo > carioca > especial > preto. Mesmo a existência de injúrias sobre plantas de feijoeiro causar prejuízos em alguns caracteres, como o estande de plantas, as cultivares de feijoeiro apresentaram resposta compensatória, com incremento de NRP e NVP nas classes comerciais com estande de plantas reduzido. Portanto, nenhuma das classes

**Figura 9** – Correlação de Pearson entre rendimento de grãos (RG) e estande final de plantas (ESTF) (A), ESTF e tolerância relativa (TR) (B), RG e TR (C), ESTF e número de ramos por planta (NRP) (D), RG e NRP (E), ESTF e NVP (F), RG e NVP (G). \*Significativo ( $p \leq 0,05$ ), \*\* significativo ( $p \leq 0,01$ ), \*\*\* significativo ( $p \leq 0,001$ ), ns não significativo ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste t. UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2021.



avaliadas teve redução de RG. Nos estudos antecedentes em casa de vegetação (Seção 4.1 e 4.2), o feijão de tipo mungo apresentou tolerância intermediária, inferior a observada à média de genótipos cariocas e especiais. A elevada tolerância do feijão mungo nos experimentos de campo pode estar relacionado ao seu menor desenvolvimento inicial nesta condição, deste modo, levando mais tempo para romper a barreira do solo / palha (emergência). Por sulfentrazone ser herbicida inibidor da

PROTOX, e necessitar de luz para que haja a formação dos radicais livres, este intervalo de tempo poderia interferir no efeito herbicida.

Ressalta-se que os experimentos realizados na safra 2019/2020 e 2020/2021 foram conduzidos em solo argiloso (teor de argila de 65% e 66%, respectivamente), com teor alto de matéria orgânica (40,21 g dm<sup>-3</sup> e 53,61 g dm<sup>-3</sup>) e pH com acidez de média a alta (4,9 e 5,2), o que em teoria propicia maior adsorção do herbicida no solo (SILVA, 2018). A dose recomendada de sulfentrazone para a cultura da soja em solos leves varia de 200 a 300 g i.a. ha<sup>-1</sup>, enquanto que em solos pesados é de até 750 g i.a. ha<sup>-1</sup> (AGROFIT, 2021). Este fato demonstra que podem haver variações de resposta dos genótipos de feijão testados no presente estudo se avaliados em solos leves com pH alcalino, podendo existir diferentes comportamentos quanto a classes comerciais.

#### 4.4 ATIVIDADE DE ENZIMAS DO SISTEMA ANTIOXIDANTES EM GENÓTIPOS DE FEIJOEIRO E SUA RELAÇÃO COM A TOLERÂNCIA A SULFENTRAZONE

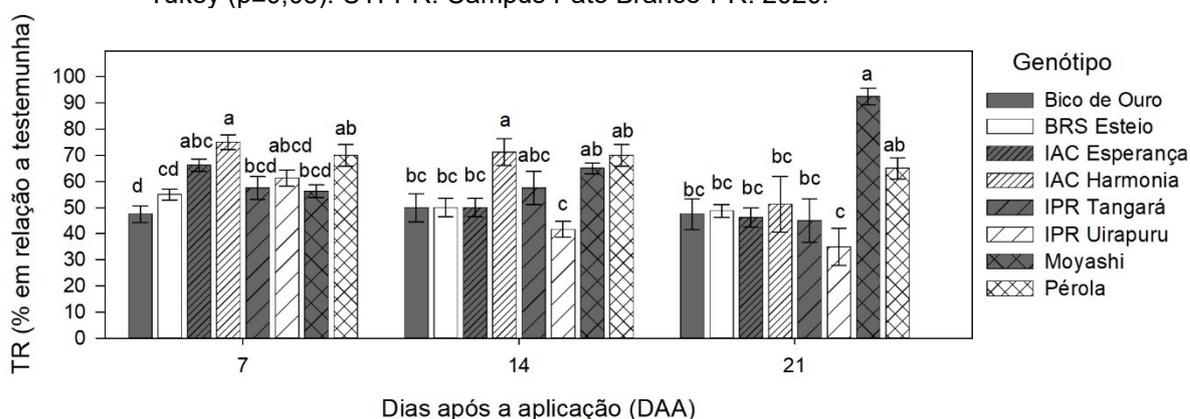
Para a maioria das variáveis analisadas foi significativa a interação entre herbicida e genótipo (Apêndice 9 e Apêndice 10). As variáveis de altura foram dependentes dos fatores isolados, sem efeito significativo para a interação. Área foliar (AF) e a atividade da enzima peroxidase (POD24) demonstraram resposta condicionada apenas para o fator genótipo. Para todas as avaliações de tolerância relativa (TR) foi detectada diferença entre os genótipos (Apêndice 8).

##### 4.4.1 Tolerância relativa, parâmetros morfológicos e conteúdo de clorofila

A injúria causada por sulfentrazone aplicado em pós-emergência progrediu com o passar dos dias após a aplicação, o que é demonstrado nas avaliações de TR (**Figura 10**), que de modo geral, variou de 35 a 93%. Aos 7 DAA, o genótipo mais afetado pela aplicação do herbicida foi Bico de Ouro, com TR de 48%. O genótipo mais tolerante foi IAC Harmonia, com TR de 75%, que não diferiu de IAC Esperança, Pérola e IPR Uirapuru. A resposta dos genótipos variou nas avaliações posteriores, com destaque para IPR Uirapuru, que apresentou a menor tolerância

dentre os genótipos aos 14 e 21 DAA, com TR de 42% e 35%, respectivamente. Aos 14 DAA, genótipos superiores quanto a TR foram IAC Harmonia, IPR Tangará, Moyashi e Pérola, cuja TR variou de 72% a 58%. Na última data de avaliação, aos 21 DAA, o genótipo Moyashi demonstrou elevado nível de TR a sulfentrazone (93%), não diferindo apenas de IPR Pérola (65%).

**Figura 10** – Tolerância relativa (TR) dos genótipos de feijão submetidos a aplicação pós-emergente de sulfentrazone (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>), aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si dentro de cada data de avaliação, pelo teste de Tukey (p≤0,05). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.

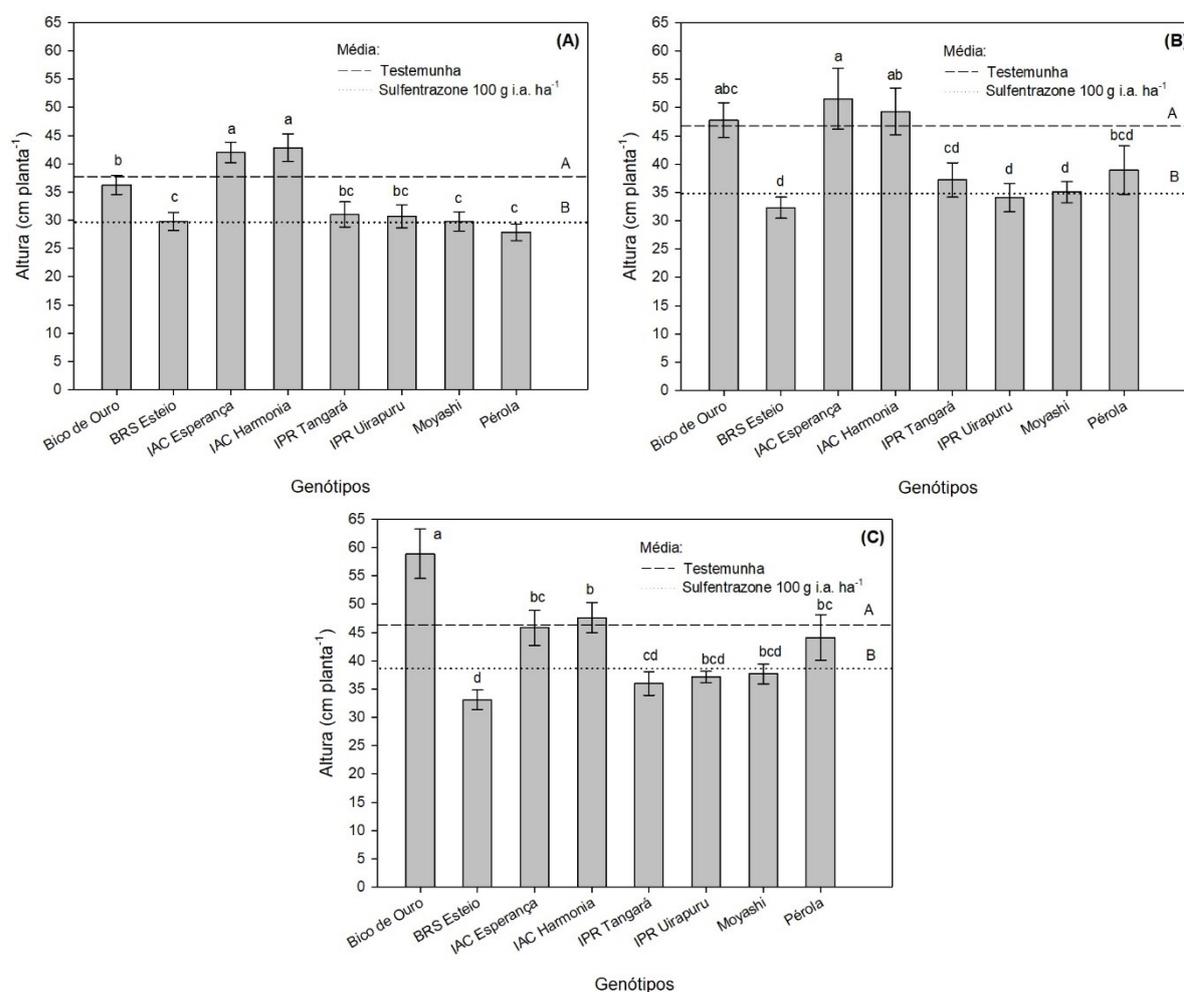


A TR demonstrou que os genótipos Moyashi e Pérola aos 21 DAA foram mais tolerantes, e diferentemente dos demais não apresentaram acréscimo de fitotoxicidade com o passar dos dias após a aplicação. A seletividade de herbicidas para o feijoeiro-comum pode variar entre cultivares (GALON *et al.*, 2018), visto a diversidade genética existente na cultura (BURLE *et al.*, 2010). Aliado a isto, é plausível que genótipos *Vigna* spp. resultem em tolerância distinta em relação a genótipos *P. vulgaris*, como observado para Moyashi (*Vigna radiata*) que demonstrou TR de 93% para sulfentrazone em pós-emergência. O mesmo não foi observado para Bico de Ouro (*Vigna unguiculata*), que foi similar a maioria dos demais genótipos.

A altura das plantas de feijão foi dependente da aplicação de sulfentrazone e também dos genótipos (Figura 11). A redução de altura média ocasionada pela aplicação de sulfentrazone foi de 21, 26 e 16% aos 7, 14 e 21 DAA, respectivamente. IAC Harmonia e IAC Esperança inicialmente apresentaram maior altura que os demais aos 7 DAA. Tanto aos 7 DAA como aos 14 DAA os genótipos Pérola, Moyashi e BRS Esteio foram inferiores quanto à altura. Bico de Ouro teve elevado valor de altura nas últimas avaliações, não diferindo de IAC Esperança e IAC

Harmonia aos 14 DAA e sendo significativamente superior aos demais aos 21 DAA. BRS Esteio foi o genótipo de menor altura aos 21 DAA, não diferindo de Tangará, Uirapuru e Moyashi.

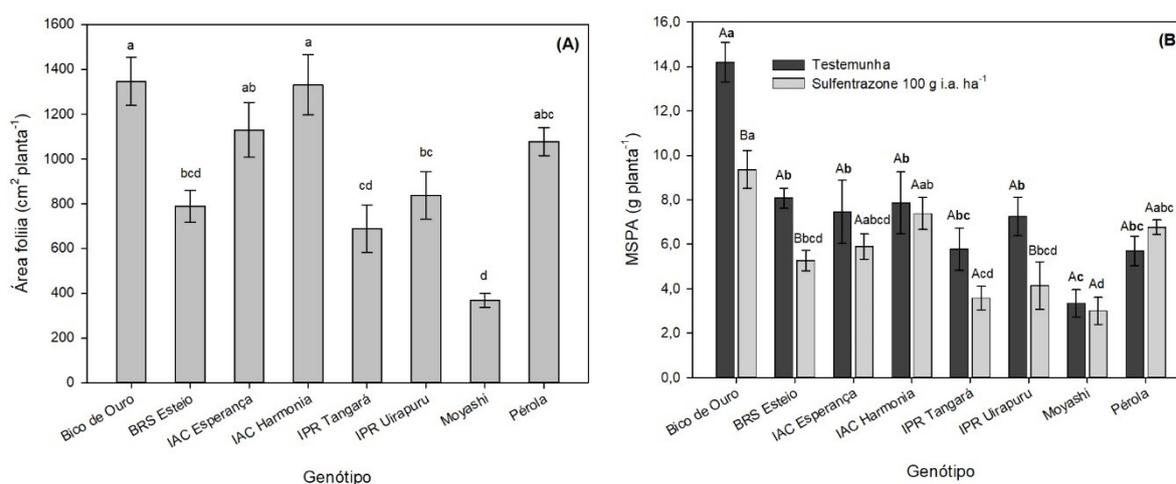
**Figura 11** – Altura (ALT) em genótipos de feijão aos 7 (A), 14 (B) e 21 (C) dias após a aplicação (DAA) dos genótipos de feijão submetidos a aplicação pós-emergente de sulfentrazone (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>). Letras maiúsculas comparam médias com e sem herbicida, enquanto que letras minúsculas comparam genótipos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.



A área foliar do genótipo Bico de Ouro foi a mais elevada dentre os genótipos, não diferindo pelo teste de comparação de médias de IAC Harmonia e IAC Esperança (**Figura 12A**). Moyashi apresentou menor AF, não diferindo de IPR Tangará e BRS Esteio. A resposta dos genótipos de feijão para a variável MSPA foi dependente da aplicação de sulfentrazone (**Figura 12B**). A MSPA de IPR Uirapuru, BRS Esteio e Bico de Ouro foi significativamente afetada pela aplicação de

sulfentrazone, com reduções de MSPA na ordem de 42, 35 e 34%. Mesmo apresentando elevada redução de MSPA, Bico de Ouro continuou sendo o genótipo com maior média, enquanto que Moyashi apresentou menor MSPA dentre os genótipos com ou sem aplicação de sulfentrazone. O único genótipo que não reduziu MSPA em função da aplicação do herbicida foi o Pérola. Este, não diferiu do genótipo de menor MSPA nos tratamentos testemunha (Moyashi), entretanto, sob aplicação de sulfentrazone esteve agrupado entre os genótipos que mais acumularam biomassa (Bico de Ouro e IAC Harmonia).

**Figura 12** – Área foliar (A) e massa seca da parte aérea (B) em genótipos de feijão submetidos a aplicação (pós-emergente de sulfentrazone (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>). Na Figura B, letras maiúsculas comparam médias com e sem herbicida dentro do mesmo genótipo, enquanto que letras minúsculas comparam genótipos com ou sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p≤0,05). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.

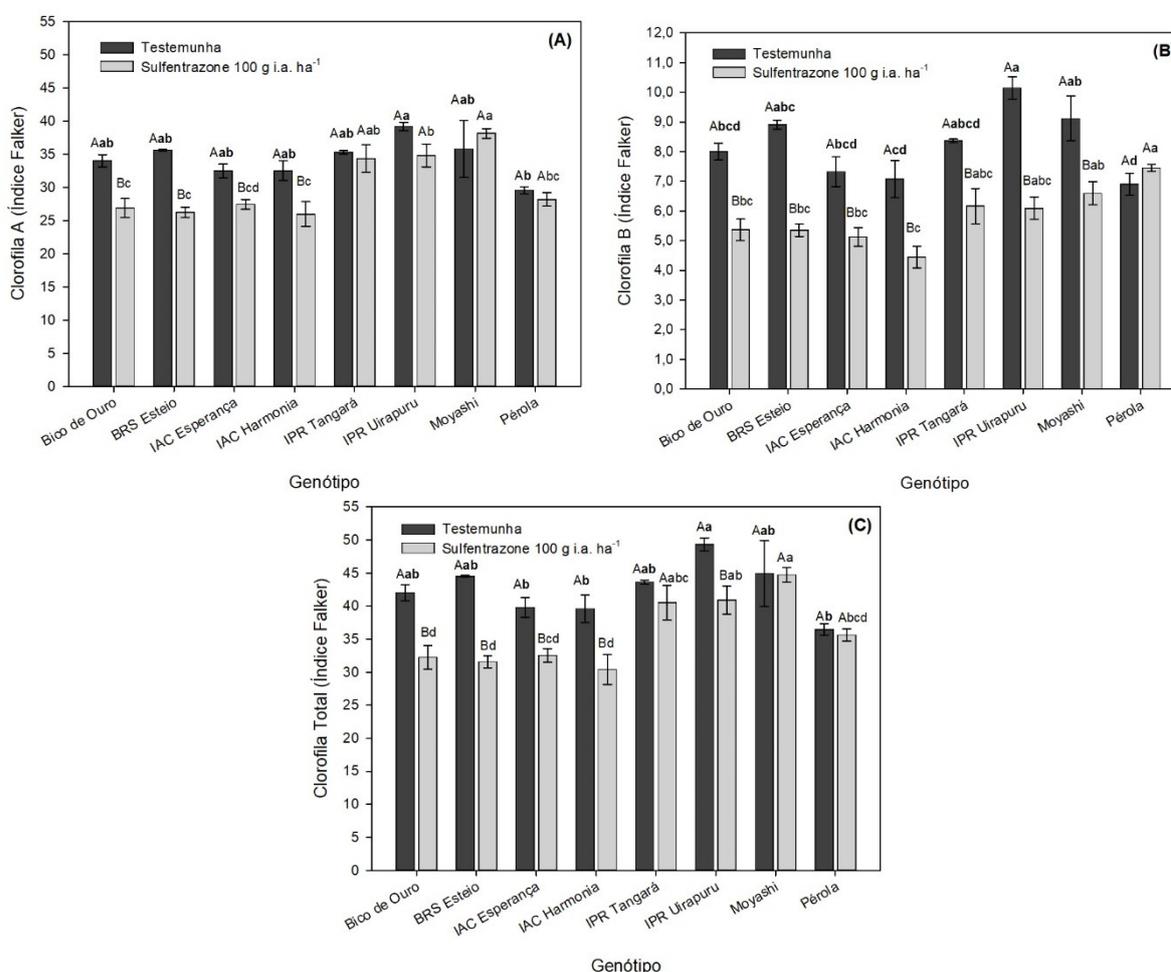


Menores reduções de MSPA (**Figura 12B**) devido a aplicação de sulfentrazone ocorreram nos genótipos que apresentaram maior TR. As maiores reduções de MSPA foram observadas nos genótipos de feijoeiro-comum de classe preto (IPR Uirapuru e BRS Esteio) e o genótipo Bico de Ouro. A menor tolerância de genótipos de feijão da classe preta foi reportada em alguns trabalhos com herbicidas aplicados no solo (SOLTANI *et al.*, 2005; HEKMAT *et al.*, 2007; DIESEL *et al.*, 2016), diferentemente do presente estudo, em que sulfentrazone foi aplicado em pós-emergência. O decréscimo de MSPA foi influenciado pela redução de altura dos genótipos quando aplicado o herbicida, que foi de 16% aos 21 DAA.

O teor de clorofila das plantas de feijão sofreu influência da aplicação de

sulfentrazone (**Figura 13**). Pérola foi o único genótipo que não diferiu em tratamentos com ou sem herbicida tanto para o conteúdo de clorofila a (**Figura 13A**), clorofila b (**Figura 13B**) como também clorofila total (**Figura 13C**). A CLB (**Figura 13B**) foi a mais afetada em relação a aplicação de sulfentrazone.

**Figura 13** – Clorofila a (A), clorofila b (B) e conteúdo de clorofila total (C) dos genótipos de feijão submetidos a aplicação pós-emergente de sulfentrazone (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>). Letras maiúsculas comparam médias com e sem herbicida dentro do mesmo genótipo, enquanto que letras minúsculas comparam genótipos com ou sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p≤0,05). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.



De modo geral, a redução de CLB dos genótipos induzida pelo herbicida foi de 28%, com ênfase para BRS Esteio e IPR Uirapuru, com decréscimos de 40%. A resposta dos genótipos foi muito similar para CLA e CCT. Os genótipos BRS Esteio, Bico de Ouro, IAC Harmonia, IAC Esperança e IPR Uirapuru tiveram a CCT reduzida pela aplicação de sulfentrazone, em 29%, 23%, 23%, 18% e 17%, respectivamente. Sem a aplicação de sulfentrazone, IPR Uirapuru apresentou maior média que os demais, o inverso do genótipo Pérola, entretanto não foi observada diferença entre

estes genótipos quando aplicado o herbicida.

Os genótipos mais afetados quanto as medições de clorofila foram os genótipos de BRS Esteio > Bico de Ouro > IAC Harmonia > IPR Uirapuru > IAC Esperança. Devido a maior geração de radicais livres induzida pela aplicação do herbicida, a toxidez das ERO's pode desencadear na redução de pigmentos fotossintetizantes, como a clorofila (BOULAHIA *et al.*, 2016).

#### 4.4.2 Atividade enzimática

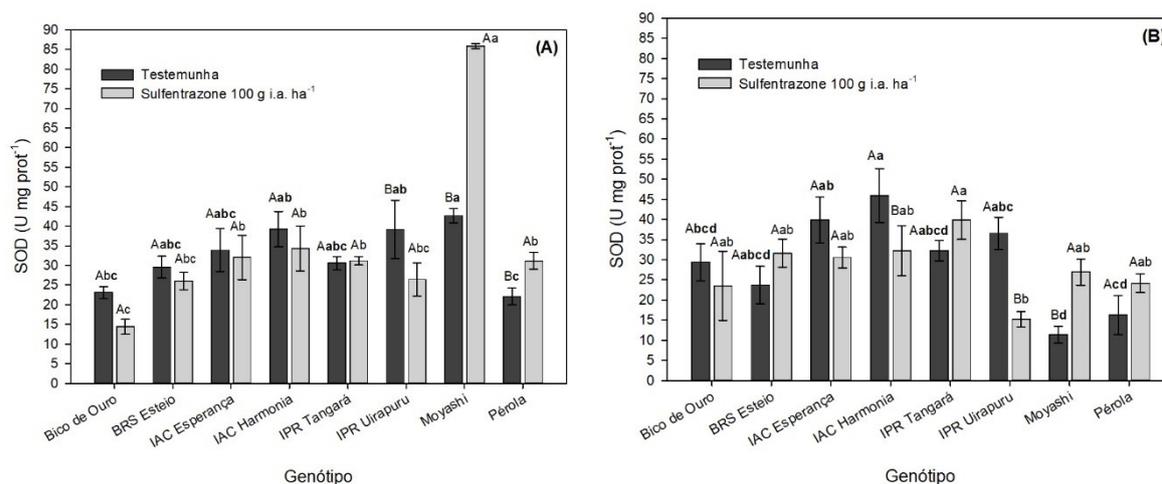
A atividade das enzimas superóxido dismutase (**Figura 14**), catalase (**Figura 15**) e peroxidase (**Figura 16**) dos genótipos foi em geral modificada pela aplicação de sulfentrazone, havendo tanto incremento quanto decréscimo.

Para SOD na avaliação efetuada as 24 horas após a aplicação (HAA) de sulfentrazone (**Figura 14A**) apenas três genótipos diferiram da testemunha: Moyashi, IPR Uirapuru e Pérola, todos com acréscimo de atividade. A atividade da SOD no genótipo Moyashi foi aproximadamente 100% superior à da testemunha. O acréscimo observado em Pérola foi de 41%, embora não tenha diferido do genótipo de maior atividade (Moyashi), contrastando com o observado nas testemunhas. IPR Uirapuru foi o único genótipo com reduções significativas induzidas pelo herbicida em ambos períodos de coleta, de 48 e 58%, respectivamente.

A avaliação da SOD as 48 HAA (**Figura 14B**) demonstrou que IAC Harmonia teve 30% de redução da atividade comparado com o tratamento testemunha. IPR Uirapuru foi o único genótipo que teve a atividade da SOD significativamente reduzida em ambas datas de avaliação, com decréscimo de 58% as 48 HAA. O impacto negativo na atividade da SOD neste genótipo pode indicar que o elevado dano induzido por sulfentrazone pode ter provocado danos irreversíveis no metabolismo celular. Moyashi foi o único genótipo que manteve a resposta induzida por sulfentrazone visualizada 24 HAA, com acréscimo de 135% em relação a testemunha sem aplicação.

O genótipo Moyashi foi o único que teve a atividade da SOD incrementada significativamente em ambos períodos de coleta com aplicação de sulfentrazone, destacando-se a indução da atividade da enzima em 101% às 24 HAA.

**Figura 14** – Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em genótipos de feijão as 24 (A) e 48 (B) horas após a aplicação (HAA) de sulfentrazone em pós-emergência (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>) em genótipos de feijão. Letras maiúsculas comparam médias com e sem herbicida dentro do mesmo genótipo, enquanto que letras minúsculas comparam genótipos com ou sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p≤0,05). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.

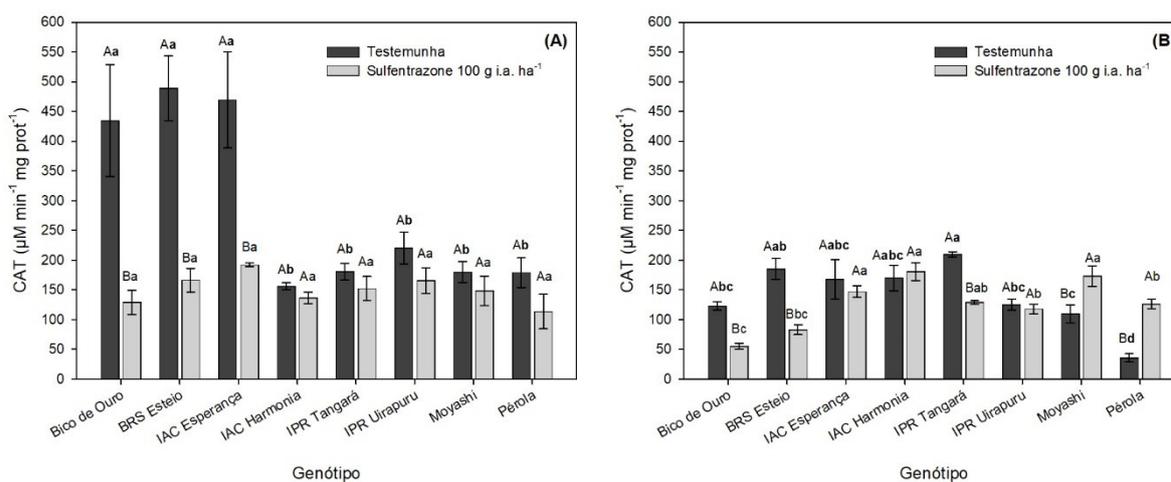


Pérola também teve a atividade da SOD incrementada significativamente em relação à testemunha as 24 HAA. Este fato indica que para estes genótipos, nas primeiras horas após a aplicação o sistema antioxidante enzimático da planta é mais eficiente na dismutação do ânion superóxido (O<sub>2</sub><sup>•-</sup>) em peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (ASADA 1999). O inverso foi observado para IPR Uirapuru com decréscimos de 48 e 58% da atividade da SOD às 24 e 48 HAA, respectivamente, sugerindo maior presença de O<sub>2</sub><sup>•-</sup> no tecido celular. Para o herbicida oxyfluorfen, inibidor da PROTOX como sulfentrazone, Cataneo *et al.* (2005) descreveu incrementos de até 70% da atividade da SOD quando aplicado o herbicida.

A atividade da enzima catalase (CAT) as 24 HAA (**Figura 15A**) de todos os genótipos foi superior na testemunha em relação aos tratamentos com sulfentrazone, com destaque para reduções significativas de 70, 66 e 59% na atividade dos genótipos Bico de Ouro, BRS Esteio e IAC Esperança quando aplicado o herbicida. É importante destacar que a atividade dessa enzima nestes genótipos sem a aplicação do herbicida foi da ordem de mais de 130% em relação a média dos demais genótipos (183 μM min<sup>-1</sup> mg prot<sup>-1</sup>). Com a aplicação de sulfentrazone, não houveram diferença entre os genótipos. Maior variação de resposta entre os genótipos

foi obtida para a atividade da catalase 48 HAA. Foi observada redução de atividade da CAT dos genótipos Bico de Ouro (-55%), BRS Esteio (-55%) e IPR Tangará (-39%) em tratamentos com aplicação, enquanto que houve acréscimo na resposta de Moyashi (+58%) e principalmente Pérola (253%). Do mesmo modo que relatado para a SOD as 24 e 48 HAA, na variável CAT 48 HAA o genótipo Pérola apresentou baixa atividade constitutiva da enzima, sendo o genótipo de média inferior aos demais, todavia, com a aplicação de sulfentrazone a atividade enzimática foi significativamente acrescida.

**Figura 15** – Atividade da catalase (CAT) em genótipos de feijão as 24 (A) e 48 (B) horas após a aplicação após a aplicação (HAA) de sulfentrazone em pós-emergência (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>) em genótipos de feijão. Letras maiúsculas comparam médias com e sem herbicida dentro do mesmo genótipo, enquanto que letras minúsculas comparam genótipos com ou sem herbicida. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.

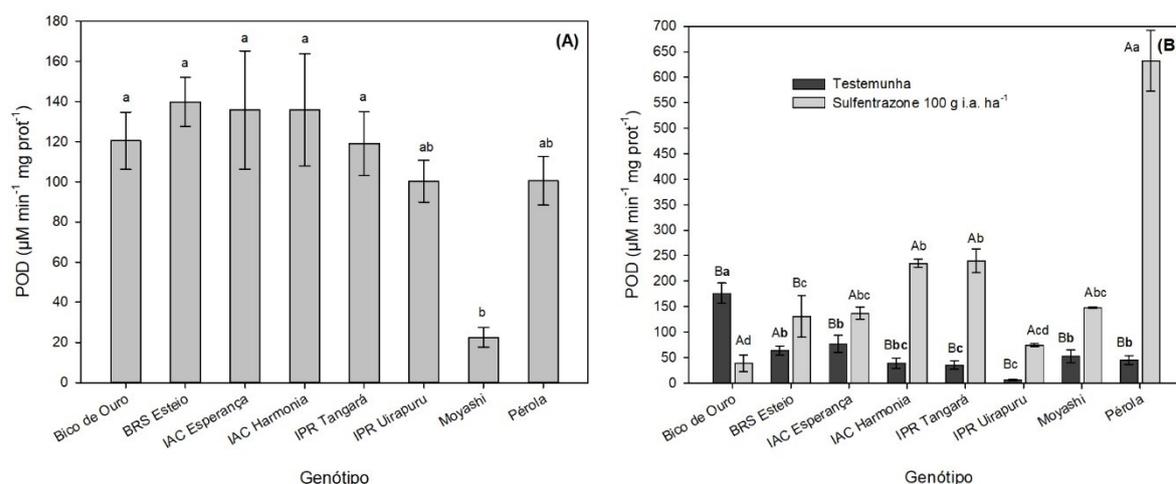


Do mesmo modo que observado para SOD, Moyashi e Pérola foram induzidos a maior atividade da CAT às 48 HAA. Logo, a maior geração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> devido a indução de atividade da SOD nestes genótipos podem ter influenciado na maior atividade da CAT (CINIGLIA *et al.*, 2015), visto que além da catalase decompor o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> gerado nos peroxissomos pela fotorrespiração, também age no produto de reação da SOD (CARVEZAN *et al.*, 2019). A catalase é a única enzima que catalisa a decomposição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sem consumir equivalentes redutores, deste modo sendo mais eficiente energeticamente para atingir a homeostase desta ERO (SCANDALIOS, 2005). O aumento da atividade da catalase também foi observado na cultura do feijoeiro-comum por Boulahia *et al.* (2016), que observou até 40% de incremento da

atividade em função da presença do herbicida prometryn, inibidor do fotossistema II.

A atividade da POD do genótipo Moyashi 24 HAA (**Figura 16A**), na média da testemunha e aplicação de sulfentrazone, foi inferior a dos demais genótipos, não diferindo de Pérola e IPR Uirapuru. Logo, não houve diferença entre os demais genótipos, que tiveram atividade superior da POD. Dentre todas as avaliações obtidas pela quantificação enzimática, a da peroxidase (POD) as 48 HAA (**Figura 16B**) foi a que apresentou a maior variabilidade entre genótipos com a aplicação do herbicida, com grande predominância de elevação da atividade da enzima em tratamentos com aplicação. Apenas Bico de Ouro teve a POD reduzida no tratamento com herbicida (-78%). O acréscimo induzido por sulfentrazone variou de 105% para BRS Esteio a 1299% para o genótipo Pérola. Destaca-se que o comportamento entre os genótipos na testemunha as 48 HAA foi diferente do observado 24 HAA, indicando que ao longo do período das coletas tanto a atividade constitutiva da POD quanto a atividade induzida pelo herbicida dessa enzima pode variar amplamente.

**Figura 16** – Atividade da peroxidase (POD) em genótipos de feijão as 24 (A) e 48 (B) horas após a aplicação após a aplicação (HAA) de sulfentrazone em pós-emergência (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>) em genótipos de feijão. Na Figura A genótipos seguidos pela mesma letra minúscula não diferiram estatisticamente. Na Figura B, letras maiúsculas comparam médias com e sem herbicida dentro do mesmo genótipo, enquanto que letras minúsculas comparam genótipos com ou sem herbicida (negrito). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.



O nível H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no tecido celular também é regulado pela POD, que se localiza praticamente nos mesmos compartimentos que a CAT (GIL e TUTEJA 2010). Além do papel fundamental desempenhado pela POD na eliminação do peróxido de

hidrogênio em água e O<sub>2</sub>, também tem envolvimento na biossíntese de lignina e defesa contra estresses bióticos pelo consumo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. (CARVEZAN *et al.*, 2019) A quantificação da atividade da POD pode ser utilizada como indicador de estresse oxidativo gerado por herbicida (XAVIER *et al.*, 2018), assim como outros estresses abióticos e bióticos (BARBOSA *et al.*, 2014).

Acréscimos da atividade da POD induzidos pela aplicação de herbicidas já foram descritos nas culturas do trigo para os herbicidas prometryne (JIANG e YANG 2009), chlorotoluron (SONG *et al.* 2007) e simetrina (JIANG *et al.*, 2016) e no arroz para fluroxypyr (WU *et al.* 2010) e atrazina (ZHANG *et al.*, 2014).

A capacidade das plantas suportarem o estresse oxidativo é dependente da eficiência das enzimas antioxidantes, que pode variar entre espécies e genótipos de uma espécie (KUMAR, GUPTA, NAYYAR, 2012). No presente estudo, genótipos que, simultaneamente, possuem maior tolerância ao sulfentrazone e acréscimo de atividade de enzimas antioxidantes possuem tendência de suportarem mais e terem maior capacidade de minimizar danos oxidativos (SAIRAM, SRIVASTAVA, SAXENA, 2000; BLOKHINA, VIROLAINEN, FAGERSTEDT, 2002), como os causados por herbicidas inibidores da PROTOX (CATANEO *et al.*, 2005; XAVIER *et al.*, 2018).

O feijão-mungo Moyashi e o genótipo de feijão-comum Pérola apresentaram maior resposta das enzimas antioxidantes quando aplicado o herbicida, comparativamente à maioria dos genótipos, evidenciando a existência de diferença entre espécies de feijão e entre genótipos de feijoeiro-comum. A tolerância de genótipos de feijoeiro-comum a ethoxysulfuron foi descrita por estar relacionado com a elevada capacidade de detoxificação, como observado por Pagnoncelli Jr (2016) para ethoxysulfuron. De acordo com Dayan *et al.* (1997) a tolerância da cultura da soja a sulfentrazone relaciona-se com a metabolização do herbicida, entretanto a resposta diferencial entre os genótipos possui ligação com a capacidade do genótipo tolerar o estresse peroxidativo gerado pelo inibidor da PROTOX. De modo similar, genótipos de feijão com elevada tolerância a sulfentrazone podem apresentar maior atividade de enzimas antioxidantes para lidar com o estresse gerado pelo herbicida.

Nos estudos anteriores em que sulfentrazone foi aplicado em pré-emergência (Seções 4.1, 4.2 e 4.3) o genótipo Bico de Ouro (*Vigna unguiculata*), foi o mais tolerante ao herbicida. É possível que outros fatores não ligados a atividade de

enzimas antioxidantes possam explicar a menor TR deste genótipo em aplicações de sulfentrazone em pós-emergência. Por exemplo, a maior interceptação do herbicida (DORR *et al.* 2016) de Bico de Ouro no momento da aplicação (não avaliado), visto seu rápido desenvolvimento inicial e expressivo acúmulo de biomassa (**Figura 11** e **Figura 12**). O inverso pode ser descrito para Moyashi (*Vigna radiata*), que em estudos precedentes em pré-emergência foi significativamente mais sensível ao sulfentrazone que Bico de Ouro (*V. unguiculata*).

Genótipos mais tolerantes (Pérola e Moyashi) e mais sensíveis (Bico de Ouro e IPR Uirapuru) a sulfentrazone (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>) em pós-emergência foram induzidos a acréscimos e decréscimos da atividade da SOD, CAT e POD (respectivamente), indicando que a atividade de enzimas antioxidantes se relacionou com a tolerância ao herbicida. Houve variação da atividade das enzimas SOD, CAT e POD entre genótipos de espécies diferentes (interespecífica) e entre genótipos da mesma espécie (intraespecífica), que foi dependente da aplicação de sulfentrazone. A aplicação de sulfentrazone em pós-emergência demonstrou que atividade enzimática superior está positivamente relacionada à maior tolerância de genótipos, indicando que a detoxificação de ERO's pode ser um mecanismo que auxilia / interfere na tolerância da planta a este herbicida.

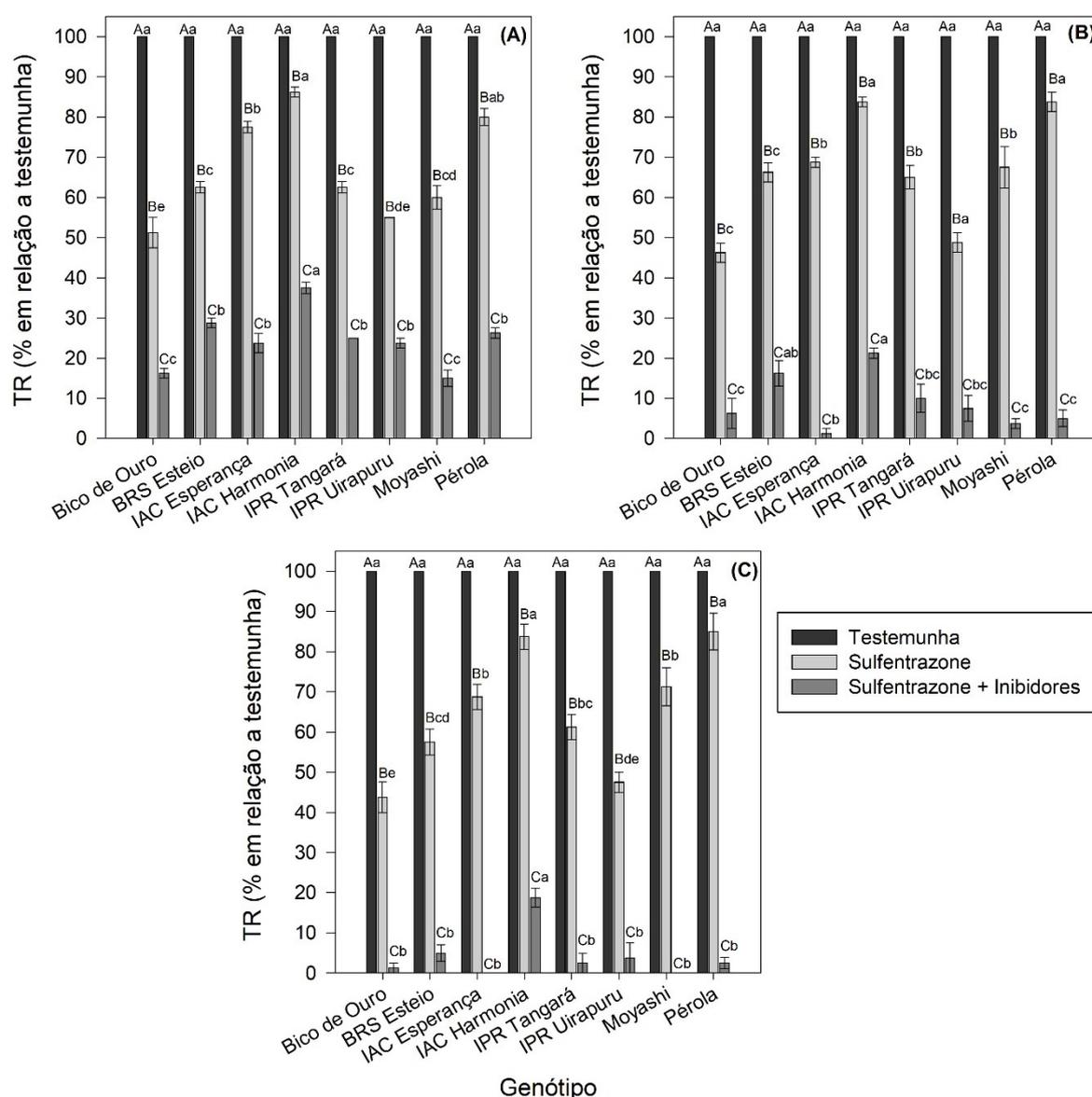
#### 4.5 RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO À ASSOCIAÇÃO DE SULFENTRAZONE E INIBIDORES DA METABOLIZAÇÃO

A ANOVA (Apêndice 11) demonstrou que foi significativa a interação entre genótipos x tratamentos (testemunha, sulfentrazone e sulfentrazone + inibidores) para tolerância relativa (TR) aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (**Figura 17**) e massa seca da parte aérea (MSPA) (**Figura 18**).

A aplicação de sulfentrazone isolado (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>) reduziu a TR aos 7, 14 e 21 DAA em 33%, 34% e 35% na média dos genótipos, em relação a testemunha (**Figura 17**), enquanto a aplicação de sulfentrazone + inibidores da metabolização reduziu a TR em média 75%, 91% e 96%, respectivamente.

O elevado acréscimo de injúria em tratamentos com sulfentrazone + inibidores da metabolização comparados a sulfentrazone isolado indica, indiretamente

**Figura 17** – Tolerância relativa (TR) dos genótipos de feijão submetidos a aplicação pós-emergente de sulfentrazone (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>) associado ou não a inibidores da metabolização (1000 g i.a. ha<sup>-1</sup> de malathion + 1125 g i.a. ha<sup>-1</sup> de chlorpyrifos) aos 7 (A), 14 (B) e 21 (C) dias após a aplicação (DAA). Letras maiúsculas comparam médias do genótipo na testemunha, tratamento com sulfentrazone e sulfentrazone + inibidores, enquanto que letras minúsculas comparam genótipos para cada tratamento (testemunha, sulfentrazone e sulfentrazone + inibidores). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.



que a metabolização do herbicida exerce papel fundamental na tolerância das plantas de feijão a sulfentrazone. Isto ocorre devido ao fato dos inseticidas organofosforados serem oxigenados pelas *P450*'s, liberando um átomo de enxofre que se liga covalentemente à apoproteína da enzima, levando à sua inativação (WERCKREICHHART, HEHN, DIDIERJAN, 2000). Com a inativação da *P450*, o processo de hidroxilação ou desalquilação do herbicida (conversão) em compostos

menos fitotóxicos (RIGON *et al.*, 2020) não ocorre, causando elevação de injúria nas plantas (TREZZI, PORTES, NUNES, 2009).

Em espécies daninhas, a adição de malathion a byspiribac-sodium incrementou o controle de *Ischaemum rugosum*, em biótipo que apresentava resistência ao herbicida (TORRES, ORTIZ, 2017). De modo similar a adição de chlorpyrifos a propanil aumentou a injúria de plantas resistentes de *Echinochloa colona* (LEAH *et al.*, 1995).

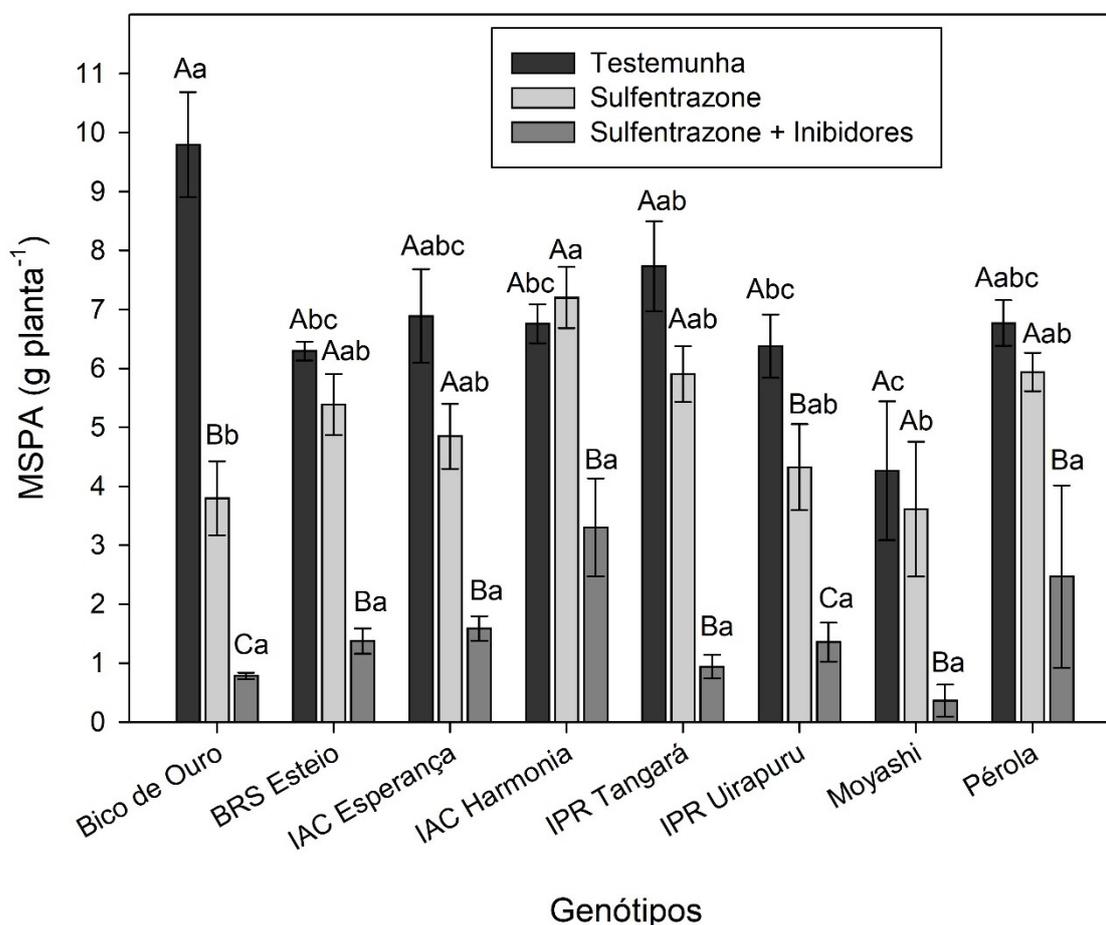
Os genótipos que inicialmente apresentaram maior TR (**Figura 17A**) em tratamentos com sulfentrazone isolado foram IAC Harmonia, Pérola e IAC Esperança, com TR de 86%, 80% e 78%, respectivamente, enquanto que os mais sensíveis foram Bico de Ouro e IPR Uirapuru, com TR de 51% e 55%. Aos 14 DAA (**Figura 17B**), a TR dos genótipos foi similar ao observado para 7 DAA, variando entre 84% (IAC Harmonia e Pérola) e 46% (Bico de Ouro). Aos 21 DAA foi evidenciada a recuperação do genótipo Moyashi, visto que aos 7 DAA resultou em TR de 60% e aos 21 DAA ela foi de 71%. Os genótipos de maior TR aos 21 DAA continuaram sendo IAC Harmonia (84%) e Pérola (85%), enquanto que Bico de Ouro foi o mais sensível (44%).

A TR dos genótipos nos tratamentos com sulfentrazone + inibidores aos 7 DAA variou de 15% (Moyashi) a 38% (IAC Harmonia). Aos 14 DAA, a média de TR dos genótipos para o mesmo tratamento foi de 9%, destacando-se IAC Harmonia, que diferiu dos demais genótipos, apresentando TR mais elevada (21%). Novamente, IAC Harmonia demonstrou maior tolerância dentre os genótipos no tratamento com inibidores (19%) na última data de avaliação (21 DAA), enquanto que BRS Esteio, o segundo genótipo com maior TR, teve média de apenas 4%.

A aplicação de sulfentrazone isolado e sulfentrazone + inibidores gerou redução média de MSPA dos genótipos de 24% e 78% (**Figura 18**), respectivamente. Isso significa que no tratamento com inibidores houve um aumento de 3,2 vezes na perda de MSPA, em relação ao tratamento com sulfentrazone isolado. Os genótipos Bico de Ouro e IPR Uirapuru foram os únicos que tiveram MSPA significativamente reduzida pela aplicação de sulfentrazone isolado, em 61% e 32%, respectivamente, em comparação à testemunha. Todos os genótipos tiveram a MSPA significativamente reduzida quando comparados tratamentos com sulfentrazone isolado e associado com inibidores da metabolização. As maiores reduções de MSPA causada pelos

inibidores em relação à sulfentrazone isolado ocorreram para Moyashi, em 90%, e IPR Tangará em 84%. O genótipo menos afetado pela aplicação do inibidor para MSPA foi IAC Harmonia, que teve redução de 54% da MSPA em relação ao tratamento com sulfentrazone isolado.

**Figura 18** – Massa seca da parte aérea (MSPA) dos genótipos de feijão submetidos a aplicação pós-emergente de sulfentrazone (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>) associado ou não a inibidores da metabolização (1000 g i.a. ha<sup>-1</sup> de malathion + 1125 g i.a. ha<sup>-1</sup> de chlorpyrifos) aos 21 dias após a aplicação (DAA). Letras maiúsculas comparam médias do genótipo na testemunha, tratamento com sulfentrazone e sulfentrazone + inibidores, enquanto que letras minúsculas comparam genótipos para cada tratamento (testemunha, sulfentrazone e sulfentrazone + inibidores). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). UTFPR. Câmpus Pato Branco-PR. 2020.



A metabolização de sulfentrazone em feijão-comum também foi investigada por Brusamarello (2019), que observou redução de 20% da TR, 30% da altura e 48% da MSPA quando comparados os tratamentos com sulfentrazone isolado (600 g i.a. ha<sup>-1</sup>) e sulfentrazone + o inibidor da metabolização chlorpyrifos (1125 g i.a. ha<sup>-1</sup>). Do mesmo modo, a metabolização foi o principal mecanismo de tolerância para acifluorfen em soja (RITTER, COBLE, 1981) e flumiclorac em milho (FAUSEY,

RENNER, 2000), ambos inibidores da PROTOX. Também em feijoeiro-comum, Pagnoncelli Jr *et al.* (2016) descreveu a metabolização como o mecanismo de tolerância dos genótipos a ethoxysulfuron, um herbicida inibidor da ALS. A metabolização é o principal mecanismo de tolerância de sulfentrazone nas culturas da soja e do fumo (GEHRKE, CAMARGO, AVILA, 2020). Investigando o mecanismo de tolerância de cultivares soja a sulfentrazone, Dayan *et al.* (1997) demonstrou que após 3 horas da exposição das plantas em solução radiomarcada com o herbicida, o remanescente observado nas folhas foi de 66% para o genótipo tolerante e 79% para o sensível. Já em 24 horas após a exposição, a quantidade de [<sup>14</sup>C] sulfentrazone foi de 4,7 e 4,9 %, respectivamente. Dayan, Weete e Hancosk *et al.* (1996), avaliando espécie tolerante (*Senna obtusifolia*) e sensível a sulfentrazone (*Cassia occidentalis*), verificaram que após nove horas da absorção do ingrediente ativo a planta tolerante metabolizou 91,6% do herbicida, enquanto a sensível apenas 17%.

IAC Harmonia foi o único genótipo que foi significativamente superior aos demais em tratamento com sulfentrazone + inibidores para TR, principalmente na avaliação de 21 DAA (**Figura 17C**). Embora não tenha sido observada diferença significativa da MSPA entre genótipos para o tratamento de sulfentrazone + inibidores, o genótipo menos afetado para esta variável também foi IAC Harmonia, como exemplificado na **Figura 19**. As espécies possuem um determinado nível básico de metabolização de xenobióticos (YU, POWLES, 2014a) e dentro de uma população podem haver variações na capacidade de metabolizar herbicidas (MA *et al.*, 2013). Deste modo, a resposta diferencial de IAC Harmonia pode estar relacionada a maior taxa metabólica da enzima *P450* (YU, POWLES, 2014b).

Com exceção de IAC Harmonia, não foi constatada para os demais genótipos relação entre a resposta do tratamento com sulfentrazone isolado e a do sulfentrazone + inibidores. Como exemplo, na aplicação de sulfentrazone isolado, Pérola apresentou TR aos 21 DAA 41 e 37% superior a Bico de Ouro e IPR Uirapuru, respectivamente. Entretanto, com a associação sulfentrazone + inibidores, a tolerância de todos os genótipos foi muito baixa, com TR inferior a 4% (**Figura 19**).

Os resultados obtidos indicam que a metabolização é o principal mecanismo responsável pela tolerância dos genótipos de feijão ao sulfentrazone, o que é comprovado pela elevada capacidade reversão da tolerância que foi induzida

**Figura 19** – Resposta dos genótipos de feijão submetidos a aplicação pós-emergente de sulfentrazone (100 g i.a. ha<sup>-1</sup>) associado ou não a inibidores da metabolização (malathion e chlorpyrifos) aos e 21 dias após a aplicação (DAA). C/ Carioca, P/ Preto, E/ Especial, CP/ Caupi (Vigna s Pato Branco-PR. 2020.



pelos inseticidas organofosforados. Essa elevada ação dos inibidores da metabolização, portanto, pode explicar porque há, de modo geral, baixa relação entre os níveis de tolerância dos genótipos ao sulfentrazone e a resposta dos mesmos ao sulfentrazone + inibidores da metabolização.

Além disso, outros mecanismos, como a maior habilidade de combate ao estresse peroxidativo podem ser responsáveis pelos diferentes níveis de tolerância entre os genótipos, como descrito na seção anterior (Seção 4.4) e observado no trabalho de Dayan *et al.* (1997). Outros estudos também demonstraram que diferentes mecanismos podem atuar concomitantemente conferindo as plantas a capacidade de tolerar herbicidas inibidores da PROTOX (; SHOUP *et al.*, 2003).

É importante frisar que a mistura de sulfentrazone e inseticidas organofosforados pode acarretar em elevação de injúria às plantas de feijoeiro, mesmo considerando que este herbicida é usualmente aplicado no solo (BRUSAMARELLO, 2019). Assim sendo, do mesmo modo que já conhecido para herbicidas inibidores da ALS (PAGNONCELLI Jr *et al.*, 2016), não se indica a associação de tanque de sulfentrazone a inseticidas organofosforados na cultura do feijoeiro.

## 5 CONCLUSÕES

Há grande variação de tolerância de genótipos de feijoeiro ao herbicida sulfentrazone. As características morfológicas estiveram fortemente relacionadas à tolerância (TR) dos genótipos de feijoeiro ao sulfentrazone (400 g i.a. ha<sup>-1</sup>).

Genótipos de feijoeiro-comum com semente de tamanho médio a grande, principalmente das classes rajado (especial) e carioca, foram mais tolerantes ao sulfentrazone, enquanto genótipos de tamanho pequeno foram mais sensíveis, destacando-se a classe de tegumento preto. Genótipos de origem andina foram mais tolerantes do que os mesoamericanos. Dentro dos genótipos mesoamericanos, os de semente maior (feijão carioca) foram mais tolerantes que os de semente menor (feijão preto). Em relação às distintas espécies do gênero *Vigna*, o feijão-caupi (*V. unguiculata*) foi altamente tolerante ao sulfentrazone, o feijão-mungo (*V. radiata*) apresentou resposta intermediária, enquanto que o feijão Adzuki (*V. angularis*) foi altamente sensível.

Os genótipos Bico de Ouro e Pérola foram capazes de suportar três vezes mais a quantidade de sulfentrazone do que o genótipo mais sensível, (IPR Uirapuru). Foram observadas maiores diferenças de tolerância entre genótipos a partir de 400 g i.a. ha<sup>-1</sup>, que causaram injúrias pronunciadas nas plantas (acima de 50%) e que doses em torno de 100 a 200 g i.a. ha<sup>-1</sup> causaram redução de aproximadamente 10% das variáveis avaliadas.

Nos estudos de campo, os níveis de tolerância de sulfentrazone (400 g i.a. ha<sup>-1</sup>) das classes de feijão foram: caupi > mungo > carioca > especial > preto. Mesmo com injúria expressiva e reduções de estande final de 17% e 10% para as classes especial e preto, não foi observada redução de produtividade, que esteve atrelado ao maior número de ramos por planta e número de vagens por planta. Principalmente para as classes de feijão *Vigna* spp. (caupi e mungo) e também carioca, os resultados forneceram uma margem de segurança adequada para 400 g i.a. ha<sup>-1</sup>, nas condições se solo e clima avaliados.

Os resultados obtidos indicam que a metabolização é determinante na tolerância dos genótipos a sulfentrazone quando aplicado em pós-emergência e que os inibidores da metabolização são altamente eficientes em reverter a tolerância de

todos os genótipos. Para a maioria dos genótipos (exceto Bico de Ouro [*V. unguiculata*]), os níveis de tolerância de sulfentrazone observados em pós-emergência se correspondem com a atividade das enzimas do sistema antioxidante SOD, CAT e POD. Portanto, mesmo a metabolização sendo o mecanismo principal de tolerância do feijoeiro ao sulfentrazone, a capacidade de combater o estresse peroxidativo atua de forma concomitantemente, sendo capaz de interferir nos níveis de tolerância das plantas ao sulfentrazone.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por mais que o feijoeiro apresente elevada importância alimentar e econômica no Brasil, esta cultura carece de informações importantes relacionados a aspectos fundamentais, como no manejo fitossanitário. É evidente a disparidade de informações quando relacionadas o feijoeiro-comum (*P. vulgaris*) e principalmente *Vigna* spp. com outras grandes culturas de grãos no país, como por exemplo a soja, milho e trigo. Portanto, a obtenção de informações relacionadas a opções de manejo de infestantes potencialmente úteis na cultura são de grande valia, como é o caso de sulfentrazone no feijoeiro.

Sulfentrazone possui um diferencial quando comparado a outros herbicidas utilizados em pré-emergência por apresentar um grande espectro de controle de plantas daninhas. Embora seja mais eficiente para espécies eudicotiledôneas (comumente chamadas de folhas largas), sulfentrazone também é capaz de controlar monocotiledôneas (folhas estreitas). Como exemplo, destaca-se sua eficiência em espécies resistentes ao glyphosate, como capim-amargoso (*Digitaria insularis*), buva (*Conyza bonariensis*), capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) e caruru (*Amaranthus hybridus*). Somado a isto, até o momento no Brasil não há herbicidas recomendados para controle de espécies eudicotiledôneas em pré-emergência das plantas daninhas e na cultura no feijoeiro.

Analisando 40 genótipos brasileiros de feijoeiro foi observado que características como centro de origem, tamanho de grão e classe comercial estiveram relacionados com a tolerância de feijoeiro-comum (Seção 4.1). Análise efetuada em genótipos de feijoeiro-comum indica que características morfológicas dos grãos podem ter correspondência com o nível de tolerância dos genótipos, como exemplo, a maior sensibilidade de genótipos de tegumento preto (tamanho de grão pequeno). O tamanho de grão dos genótipos está relacionado ao seu centro de origem. Genótipos provenientes do centro de origem mesoamericanos tendem a possuir tamanho de grão menor do que do centro de origem andino. Genótipos de tegumento preto provém do *pool* gênico mesoamericano. Embora considerados de origem mesoamericana, genótipos da classe carioca apresentam, em geral, tamanho de grão intermediário e elevada tolerância ao sulfentrazone. Acredita-se que a elevada

tolerância de cultivares dessa classe se deva a introgressão de genes andinos, resultando em nível de tolerância superior.

O estudo de curva dose-resposta demonstrou (Seção 4.2) que doses superiores a 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone causam injúria expressiva das plantas de feijoeiro, enquanto que doses de sulfentrazone de até 200 g i.a. ha<sup>-1</sup> foram seletivas para todos os genótipos. Com o cálculo dos fatores de tolerância foi possível observar genótipos (Bico de Ouro e Pérola) capazes de suportar até três vezes mais a quantidade de sulfentrazone necessária para redução de 50% da TR e MSPA do que o genótipo mais sensível (IPR Uirapuru). Neste mesmo estudo foi possível observar os diferentes níveis de tolerância entre classes comerciais: caupi > carioca > especial > mungo > preto.

Nos experimentos de campo (Seção 4.3), os níveis de tolerância de sulfentrazone em pré-emergência (400 g i.a. ha<sup>-1</sup>) entre classes variaram comparando-se os experimentos anteriores realizados em ambiente controlado, sendo observado tolerância na ordem de: caupi > mungo > carioca > especial > preto. Mesmo com injúria expressiva e reduções de ESTF de 17% e 10% para as classes especial e preto, não foi observada redução de produtividade, evidenciando a plasticidade que o feijoeiro apresenta. Ressalta-se que mesmo não afetando o rendimento de grãos, a umidade dos grãos foi significativamente acrescida, indicando um atraso na maturação decorrente da aplicação do herbicida. Sendo assim, a resposta de feijão caupi, mungo e carioca demonstraram boa margem de segurança para 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone. Logo, para as classes de feijão especial e principalmente o preto, a elevada injúria inicial e decréscimo de estande não fornece uma margem de segurança adequada de uso para 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone.

De acordo com os resultados dos ensaios de curvas dose-resposta e experimentos a campo pode-se concluir que nas condições de solo e clima avaliadas a dose de 200 g i.a. ha<sup>-1</sup> é promissora para o feijoeiro-comum (*P. vulgaris*), visto que esta dose foi seletiva a todos os genótipos (Seção 4.2) e também não causou reduções de produtividade (Seção 4.3) quando aplicado 2X (400 g i.a. ha<sup>-1</sup>). Portanto, em condições de campo, além de 200 g i.a ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone ser eficiente no controle de infetantes (resultados descritos na literatura) e seletiva para a cultura, a sobreposição da aplicação (400 g i.a. ha<sup>-1</sup>) pode até causar injúria inicial, mas não

afetaria o desenvolvimento da cultura. Para feijão-caupi (*V. unguiculata*), mesmo 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone não causou efeito algum nas plantas, sugerindo que esta dose foi seletiva. Para o feijão mungo, os resultados de tolerância ao herbicida foram contrastantes, tendo em vista que foi altamente tolerante nos estudos de campo enquanto que em casa de vegetação teve comportamento intermediário. Esta diferença pode estar atrelada a diferentes fatores, como a presença de palha nos experimentos de campo.

Os ensaios avaliando a atividade de enzimas antioxidantes (Seção 4.4) e com inibidores da metabolização (Seção 4.5) em pós-emergência indicam que a capacidade de metabolizar o ingrediente ativo é o principal mecanismo de tolerância do feijão (*P. vulgaris* e *Vigna* spp.) e que os diferentes níveis de tolerância são influenciados pela atividade de enzimas antioxidantes. Além destes resultados serem relevantes quanto ao entendimento do mecanismo da cultura a este inibidor da PROTOX, também exemplifica que misturas de tanque com inseticidas organofosforados com sulfentrazone causa elevação de injúria, não sendo recomendados.

Na Seção 1 foi observado que o tamanho de semente foi positivamente relacionado com a tolerância dos genótipos, que de acordo com a literatura, poderia ter relação com a maior concentração do herbicida nas estruturas seminais de genótipos de menor tamanho de semente. Baseado nos ensaios que investigaram o mecanismo de tolerância em pós-emergência (Seção 4.4 e 4.5) é possível que em genótipos de semente menor de feijoeiro-comum, a menor atividade de enzimas detoxificadoras de ERO's também propiciem menores níveis de tolerância, o que não se aplicaria para o gênero *Vigna*.

Em outros países, como no Canadá já foram investigadas a tolerância de diferentes classes de feijão a sulfentrazone e sua eficiência no controle de plantas daninhas, além de possíveis formulações associadas a outros herbicidas gramínicos. Nos Estados Unidos, já existe uma formulação sulfentrazone + s-metolachlor com recomendações específicas para *P. vulgaris* e *Vigna* spp. Com o avanço das pesquisas de sulfentrazone no Brasil buscando-se doses ideais de acordo com pH, matéria orgânica e classe textural dos solos é natural que também se chegue a uma recomendação do produto no país para feijoeiro.

O Brasil pode ser considerado um centro secundário de diversidade de feijoeiro, havendo classes comerciais praticamente exclusivas do país. O fato do feijoeiro ser cultivado em praticamente todo Brasil, também implica em ampla variação de condições de solo e edafoclimáticas. Deste modo, a tolerância de diferentes genótipos / classes comerciais de feijão brasileiros a sulfentrazone e sua relação com características morfofisiológicas, dão suporte a futuros estudos, sendo um passo a mais no caminho para uma possível recomendação na cultura.

## REFERÊNCIAS

- AEBI, H. Catalase in vitro. **Methods in Enzymology**, v. 105, p.121-126, 1984.
- AGOSTINETTO, D.; PERBONI, L. T.; LANGARO, A.; GOMES, J.; FRAGA, D. S.; FRANCO, J. J. Changes in Photosynthesis and Oxidative Stress in Wheat Plants Submitted to Herbicides Application. **Planta Daninha**, v. 34, p. 1-9, 2016.
- AGROFIT - Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários. Consulta de ingrediente ativo, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Coordenação-Geral de Agrotóxicos e Afins/DFIA/SDA. Disponível em: <[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em 24 out, 2020.
- AGROFIT - Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários. Consulta de ingrediente ativo, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Coordenação-Geral de Agrotóxicos e Afins/DFIA/SDA. Disponível em: <[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em 13 jan, 2021.
- ALLIG, T. D. Growth, Seed Yield and Quality of Pole Snap Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as Affected by Planting Date and Population Density. **Open Science Repository Agriculture**, e23050421, 2013.
- ALVES, C.; GALON, L.; KAIZER, R.R.; WINTER, F.L.; HOLZ, C.M.; NONEMACHER, F.; SANTIN, C.O. Tolerance of Annual Winter Species to Protoporphirinogen Oxidase Inhibiting Herbicides (Protox). **Planta Daninha**, v. 36, e018174651, 2018.
- AMBIKA, S.; MANONMANI, V.; SOMASUNDARAM, G, Review on effect of seed size on seedling vigour and seed yield, **Research Journal of Seed Science**, v, 7, p, 31-38, 2014.
- ANDROCIOLI, L. G.; TOMAZ, J. P.; MODA-CIRINO, V. Physiological responses of two drought tolerant common bean cultivars. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 59, p. 35–36, 2016.
- ARAUJO NETO, A. C. et al. toxicity of pre-emergent herbicides applied via irrigation water in eucalyptus plantation. **Floresta**. v. 50, n. 1, p. 1031-1040, 2019.
- ARF, O.; GITTI, D. C. Colheita. In: Aspectos gerais da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). ARF, O.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. Botucatu: FEPAF, 2015. 77-110 p.
- ARRUDA, I. M.; MODA-CIRINO, V.; KOLTUN, A.; DOS SANTOS, O. J. A. P.; MOREIRA, R. S.; MOREIRAA, F. P.; GONÇALVES, L. S. A. Physiological, biochemical and morphoagronomic characterization of drought-tolerant and drought-sensitive bean genotypes under water stress. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 24, n. 6, p. 1059–1067, 2018.
- ARSENIJEVIC, N.; AVELLAR, M.; BUTTS, L.; ARNESON, N. J.; WERLE, R. Influence of sulfentrazone and metribuzin applied preemergence on soybean

development and yield. **Weed Technology**, 1–22, 2020. doi:10.1017/wet.2020.99

ASADA, K. THE WATER-WATER CYCLE IN CHLOROPLASTS: Scavenging of Active Oxygens and Dissipation of Excess Photons. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, n. 1, p. 601–639, 1999.

BAKRY, B. A.; ELEWA, T. A.; EL-KARAMANY, M. F.; ZEIDAN, M. S.; TAWFIK, M. M. Effect of row spacing on yield and its components of some faba bean varieties under newly reclaimed sandy soil condition. **World Journal of Agricultural Sciences**. v. 7, n. 1, p. 68-72, 2011.

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. DE A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. *Ciência Rural*, v. 44, n. 3, p. 453–460, 2014.

BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, v.67, n.1, 2015.

BLAIR, M. W.; DÍAZ, L. M.; BUENDÍA, H. F.; DUQUE, M. C. Genetic diversity, seed size associations and population structure of a core collection of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 119, p. 955–972, 2009.

BLAIR, M. W.; BRONDANI, R. V. P.; DÍAZ, L. M.; DEL PELOSO, M. J. Diversity and Population Structure of Common Bean from Brazil. **Crop Science**, v.53. p. 1983-1993, 2013.

BLOKHINA, O.; VIROLAINEN, E.; FAGERSTEDT, K. V. Antioxidants, Oxidative Damage and Oxygen Deprivation Stress: a Review. **Annals of Botany**, v. 91, n. 2, p. 179–194, 2003.

BOULAHIA, K.; CAROL, P., PLANCHAIS, S.; ABROUS-BELBACHIR, O. *Phaseolus vulgaris* L. Seedlings Exposed to Prometryn Herbicide Contaminated Soil Trigger an Oxidative Stress Response. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n.16, p. 3150–3160, 2016.

BOWLER, C.; VAN MONTAGU, M.; INZÉ, D. Superoxide dismutase and stress tolerance. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 43, n1, p. 83–116, 1992.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 7, p. 248–254, 1976.

BRANT, V.; PIVEC, J.; HAMOUZOVÁ, K.; ZÁBRANSKÝ, P.; SATRAPOVÁ, J.; ŠKEŘÍKOVÁ, M. Determination of the influence of herbicides on dicotyledons plant transpiration using the sap flow method. **Plant, Soil and Environment**, v. 60, p. 562-568, 2014.

BROETTO, F. 2014. Métodos de trabalho em bioquímica vegetal e tecnologia de enzimas. Instituto de Biociências, Botucatu. 86 p.

BRUSAMARELLO, A. **Tolerância de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**

**aos herbicidas inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase.** 2018. 180 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.

BURLE, M. L.; FONSECA, J. R.; KAMI, J. A.; GEPTS, P. Microsatellite diversity and genetic structure among common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in Brazil, a secondary center of diversity. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 121, p. 801–813, 2010.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R.; HUYVAERT, K. P. AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons. **Behavioral ecology and sociobiology**, v. 65, n. 1, p. 23-35, 2011.

BUSI, R., GAINES, T. A. e POWLES, S. Phorate can reverse P450 metabolism-based herbicide resistance in *Lolium rigidum*. **Pest Management Science**, v. 73, n. 2, p. 410–417, 2016.

CAKMAK, I.; HORST, W. J. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). **Physiologia Plantarum**, v. 83, n. 3, p. 463–468, 1991.

CAMPOS-VEJA, R.; LOARCA-PINA, G.; OOMAH, B. D. Minor components of pulses and their potential impact on human health. **Food Research International**, V. 43, n. 2, p. 461-482, 2010.

CARVALHO, A. R. J.; MAIA, V. M.; ASPIAZÚ, I.; PEGORARO, R. F.; OLIVEIRA, F. S. Physiological Variables in Pineapples Submitted to the Application of Diuron. **Planta Daninha**, v. 36, n. 1, 2018.

CATANEO, A. C.; CHAMMA, K. L.; FERREIRA, L. C.; DÉSTRO, G. F. G.; SOUSA, D. C. F. Atividade de superóxido dismutase em plantas de soja (*Glycine max* L.) cultivadas sob estresse oxidativo causado por herbicida. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 4, p. 23-31, 2005

CAVERZAN, A.; PIASECKI, C.; CHAVARRIA, G.; STEWART, C.N., JR.; VARGAS, L. Defenses Against ROS in Crops and Weeds: The Effects of Interference and Herbicides. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 5 p. 1086-2006, 2019.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1987. Standard system for the evaluation of bean germplasm. In: Schoonhoven AV, Pastor–Corrales MA (eds) Cali, Colombia.

CINIGLIA, C., MASTROBUONI, F., SCORTICHINI, M., & PETRICCIONE, M. Oxidative damage and cell-programmed death induced in *Zea mays* L. by allelochemical stress. **Ecotoxicology**, v. 24, n. 4, p. 926–937, 2005.

COBB, A.H.; READE, P.H.R. Herbicides and Plant Physiology, 2nd ed.; JohnWiley & Sons: New York, NY, USA, 2010; 286p. ISBN:9781444327793.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra de grãos: Décimo segundo levantamento, V,7 – Safra 2019/2020. 2020. Acesso em 14

jan 2021, Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>

CORREIA, N. M.; ANDRADE, M. J. B. Seletividade do imazethapyr a três genótipos de feijoeiro. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 3, n. 1, p. 57-62, 2002.

COSTA, A. F.; DO VALE, L. S.; DE OLIVEIRA, A. B.; DE BRITO NETO, J. F. CARDOSO, G. D. Selectivity of pre-and post-emergent herbicides for cowpea (*Vigna unguiculata*). **African Journal of Agricultural Research**, v, 12, p. 881-887, 2017.

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

DARKWA, K.; AMBACHEW, D.; MOHAMMED, H.; ASFAW, A.; BLAIR, M. W. Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for drought stress adaptation in Ethiopia. **The Crop Journal**, v. 4, n. 5, p. 367–376, 2016.

DAYAN, F. E.; OWENS, D. K.; TRANEL, P. J.; PRESTON, C.; DUKE, S. O. Evolution of resistance to phytoene desaturase and protoporphyrinogen oxidase inhibitors - state of knowledge. **Pesticide and Management Science**, v. 70, n. 9, p. 1358–1366, 2014.

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. 2, p. 634-641, 1977.

DAYAN, F. E.; WEETE, J. D.; HANCOCK, H, G. PHYSIOLOGICAL Basis for differential sensitivity to sulfentrazone by sicklepod (*Senna obtusifolia*) and coffee senna (*Cassia occidentalis*). **Weed Science**, v. 44, p. 12-17, 1996.

DE SOUSA, C. P.; DE FARIAS, M. E.; SCHOCK, A. A.; BACARIN, M. A. Photosynthesis of soybean under the action of a photosystem II-inhibiting herbicide. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 36, n. 11, p. 3051–3062, 2014.

DEL RÍO, L. A. *et al.* The activated oxygen role of peroxisomes in senescence. **Plant Physiology**, v. 116, n. 4, p. 1195–1200, 1998.

DÍAZ, L. M.; BLAIR, M. W. Race structure within the Mesoamerican gene pool of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as determined by microsatellite markers. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 114, p. 143–154, 2006.

DIESEL, F.; TREZZI, M. M.; ROSIN, D.; BARANCELLI, M. V. J.; BATISTEL, S. C.; PAGNONCELLI, F. D. B. Temporal selectivity of saflufenacil herbicide for the common bean crop of a brazilian oxisol. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 38, n. 4, p. 421-428, 2016.

DIPP, C. C. *et al.* Drought stress tolerance in common bean: what about highly cultivated Brazilian genotypes? **Euphytica**, v. 102, p. 213, 2017.

DORR, G.J. *et al.* Spray retention on whole plants: modelling, simulations and experiments. **Crop Protection**, v. 88, p. 118–130, 2016.

- 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.
- FAUSTINO, L. A. FREITAS, M. A. M. PASSOS, A. B. R. J. SARAIVA, D. T. FARIA, A. T. SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R. Mobilidade do sulfentrazone em solos com diferentes características físicas e químicas. **Planta Daninha**, v. 33, n. 4, p. 795-802, 2015.
- FERNANDES, C. O. C. *et al.* Tolerância do feijoeiro a herbicidas aplicados na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 121-123, 2011.
- FERRARI, S.; RAMOS JÚNIOR, E. U. Tipos especiais de feijão, In: *Aspectos gerais da cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L.)*, ARF. O.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. Botucatu: FEPAF, 2015; 317-386 p.
- FERRAZ, R. L. S.; DE MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; NUNES JÚNIOR, E. S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 181-188, 2012.
- FERREIRA, L. C. **Ação protetora do oxido nítrico em plantas de soja (*Glycine max* L. Merrill) submetidas ao lactofen**. 2007. 155P. Tese (doutorado) -Instituto de Biociências, UNESP -Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.
- FERREIRA, B. F.; PORTYA, P. C.; DENISMAR, A. N. ExpDes,pt: Pacote Experimental Designs (Portuguese). **R package version 1,2,0, 2018**. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>. Acesso em: 30 set, 2019.
- FEST, C.; SCHMLDT, K.J. The Chemistry of Organophosphorus Pesticides. **JSTOR**, 1974.
- FLURKEY, W. H.; JEN, J. J. Peroxidase and polyphenol oxidase activities in developing peaches. **Journal of Food Science**, v. 43, n. 6, p. 1826–1828, 1978.
- FONTES, J. R. A.; OLIVEIRA, I. J.; GONÇALVES, J. R. P. Seletividade e eficácia de herbicidas para a cultura do feijão-caupi. **Revista Brasileira de Herbicidas**, n.1 p. 47-55, 2010.
- FRANS, R.; TALBOT, R.; MARX, D.; CROWLEY, H. Experimental design and techniques for measuring and analysing plant responses to weed control practices. In: Camper, N.D. **Research methods in weed science**, 3th ed, Champaign: SWSS, 1986. p,29-46.
- GAINES, T. A.; DUKE, S. O.; MORRAN, S.; RIGON, C. A. G.; TRANEL, P. J.; KÜPPER, A.; DAYAN, F. E. Mechanisms of evolved herbicide resistance. **Journal of Biological Chemistry**, v. 295, n.30, p.10307-10330, 2020.
- GALON, L.; CONCENÇO, G.; FERREIRA, E. A.; ASPIAZÚ, I.; SILVA, A. F.; FERREIRA, F. A.; SILVA A. A.; TIRONI, S. P.; FREITAS, M. A. M.; SOARES, E. R. Eficiência de uso da água em genótipos de cana-de-açúcar submetidos à aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 777-784, 2010.
- GALON, L.; WINTER, F. L.; FORTE, C. T.; AGAZZI, L. R.; BASSO, F. J. M.; HOLZ, C.

- M.; PERIN, G. F. Associação de herbicidas para o controle de plantas daninhas em feijão do tipo preto. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n.4, p. 268-278, 2017.
- GANASCINI, D., *et al.* Analysis of the production chain of bean culture on Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 7, p. 256-267, 2019.
- GAZZIERO, D. L. P.; PRETE, C. E. C.; SUMIYA, M.; OLIVEIRA NETO, W. Teste-padrão de germinação modificado para análise da tolerância de cultivares de soja ao herbicida sulfentrazone. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 43-47, 2005.
- GEHRKE, V.R.; CAMARGO, E.R.; AVILA, L.A. Sulfentrazone: Environmental Dynamics and Selectivity. **Planta Daninha**, 38, e0202156632020.
- GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide Dismutases: I. Occurrence in Higher Plants. **Plant Physiology**, v. 59, n. 2, p. 309–314, 1977.
- GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909–930, 2010.
- GIL, R.; BOJACÁ, C. R.; SCHREVEENS, E. Understanding the heterogeneity of smallholder production systems in the Andean tropics – The case of Colombian tomato growers. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 88, p. 1–9, 2019.
- HEAP, I. The International Herbicide-Resistant Weed Database. 2021. Online. 2021. Acesso 14 jan 2021, Disponível em: <[www.weedscience.org](http://www.weedscience.org)>
- 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.
- JIANG, L.; YANG, H. Prometryne-induced oxidative stress and impact on antioxidant enzymes in wheat. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 72, n. 6, p. 1687–1693, 2009.
- JIANG, L.; YANG, Y.; JIA, L.; X., LIN; J. L.; LIU, Y.; PAN, B.; LIN, Y. Biological responses of wheat (*Triticum aestivum*) plants to the herbicide simetryne in soils. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 127, p. 87–94, 2016.
- KASSAMBARA, A. Visualization of a Correlation Matrix using 'ggplot2'. **R package version 0,1,3, 2019**. Disponível em: <<http://www.sthda.com/english/wiki/ggcorrplot>>. Acesso em: 10 nov 2019.
- KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. **R package version 1,0,5, 2017**. Disponível em: <<http://www.sthda.com/english/rpkgs/factoextra>>, Acesso em: 10 nov 2019.
- KHAIRNAR, C. B.; SETHI, H. N. Pre- and post-emergence herbicides for weed management in mungbean. **Indian Journal of Weed Sciences**, v. 36, n. 4, p. 392-395, 2014.
- KNISS, A. R.; STREIBIG, J. C. (2018). Statistical analysis of agricultural experiments using R. Disponível em:<<https://rstats4ag.org/>>>, Acesso em: 26 nov 2020.

- KÖMIVES, T.; GULLNER, G. Mechanisms of plant tolerance to photodynamic herbicides. In: *Porphyric Pesticides: Chemistry, Toxicology, and Pharmaceutical Applications*. DUKE, STEPHEN O.; CONSTANTIN R. A. ACS symposium series. American Chemical Society, v. 559, p.177–190, 1994.
- KOZLOWSKI, L. A.; RONZELLI JÚNIOR, P.; PURISSIMO, C. DAROS, E. KOEHLER, H. S. Período crítico de interferência das plantas daninhas na cultura do feijoeiro-comum em sistema de semeadura direta. **Planta Daninha**, v. 20, n. 2, p. 213-220, 2002.
- KRENCHINSKI, F. H.; ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; CESCO, V. J. S.; RODRIGUES, D. M.; PORTZ, R. L.; ZOBIOLE, L. H. S. Glyphosate affects chlorophyll, photosynthesis and water use of four Intacta RR2 soybean cultivars. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 39, n. 2, p. 63, 2017.
- KUMAR, S.; ANGIRAS, N. N.; RANA, S. S.; THAKUR, A. S. Evaluation of Doses of Some Herbicides to Manage Weeds in Soybean (*Glycine max* L.). **Indian Journal of Weed Science**, v. 40, n. 1, p. 56-61, 2008.
- KUMAR, S., GUPTA, D., & NAYYAR, H. Comparative response of maize and rice genotypes to heat stress: status of oxidative stress and antioxidants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 34, n. 1, p. 75–86, 2011.
- KUZNETSOVA, A.; BROCKHOFF, P. B.; CHRISTENSEN, R.H.B. "lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models." **Journal of Statistical Software**, v. 82, n. 13, p. 1-26, 2007.
- LANGARO, A. C.; AGOSTINETTO, D.; OLIVEIRA, C.; SILVA, J. D. G.; BRUNO, M. S. Biochemical and Physiological Changes in Rice Plants Due to the Application of Herbicides. **Planta Daninha**, v. 34, n. 2, p. 277-290, 2016.
- 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.
- LEE, H. J.; DUKE, S. O. Protoporphyrinogen IX-oxidizing activities involved in the mode of action of peroxidizing Herbicides. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, n. 11, p. 2610–2618, 1994.
- LEWIS, K. A.; TZILIVAKIS, J.; WARNER, D. J.; GREEN, A. An international database for pesticide risk assessments and management. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 22, n. 4, p.1050-1064, 2016.
- LI, Z.; WALKER, R. H.; WEHTJE, G.; HANCOCK, H. G. Use of Seedling Growth Parameters to Classify Soybean (*Glycine max*) Cultivar Sensitivity to Sulfentrazone. **Weed Technology**, v. 13, n. 3, p. 530–535, 1999.
- 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., VAN ACKER, R., ROBINSON, D. E., SOLTANI, N., & SIKKEMA, P. H.

Managing weeds with herbicides in white bean in Canada: a review. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 97, n. 5, p. 755-766, 2017.

LOVATO, F.; KOWALESKI, J.; SILVA, S. Z. DA.; 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. B.; TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A.; PATEL, F.; CIESLIK, L. F.; DEBASTIANI, F. Rendimento de grãos de feijão e nível de dano econômico sob dois períodos de competição com *Euphorbia heterophylla*. **Planta Daninha**, v. 33, n. 1, p. 41-48, 2015.

MAJI, S.; REJA M. H.; NATH, R.; BANDOPADHYAY, P.; DUTTA, P. Herbicidal management in monsoon green gram (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) and its effect on the following rapeseed (*Brassica campestris* L. var. Yellow Sarson) in the Indo-Gangetic plains of Eastern India. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 19, n. 8, p. 499-509, 2020.

MANABE. P. M. S.; MATOS. C. C.; FERREIRA. E. A.; SILVA. A. A.; SEDIYAMA. T.; MANABE. A.; SILVA. A. F.; DA ROCHA. P. R. R.; GALON. L. Características fisiológicas de feijoeiro em competição com plantas daninhas. **Bioscience Journal**, v. 30. n. 6. p. 1721-1728. 2014.

MARTINS, D.; TOMAZELA, M. S.; DAVID, D. V.; MARTINS, C. C. Controle de tiririca com sulfentrazone e diclosulam e viabilidade de tubérculos em diferentes profundidades de solo. **Bragantia**, v. 68, n. 2, p. 357–366, 2009.

MATRINGE, M.; CAMADRO, J. M.; LABBE, P.; SCALLA, R. Protoporphyrinogen oxidase as a molecular target for diphenyl ether herbicides. **Biochem Journal**, v. 260, p. 231-235, 1989.

MATSUMOTO. H.; LEE. J. J.; ISHIZUKA. K. Variation in crop response to protoporphyrinogen oxidase inhibitors. In: *Porphyric Pesticides*. DUKE. S. O.; REBEIZ. C. A. American Chemical Society Symposium Series. 1997; 120–132 p.

MESSINA, V. Nutritional and health benefits of dried beans. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 100 (Suppl. 1), 437S–442S, 2014.

MHAMDI, A.; QUEVAL, G.; CHAOUCH, S.; VANDERAUWERA, S.; VAN BREUSEGEM, F.; NOCTOR, G. Catalase function in plants: a focus on Arabidopsis mutants as stress-mimic models. **Journal of Experimental Botany**, v 61, n 15, p. 4197–4220, 2010.

MIKLAS. P. N.; KELLY. J. D.; BEEBE. S. E.; BLAIR. M. W. Common bean breeding for resistance against biotic and abiotic stresses: From classical to MAS breeding. **Euphytica**, v. 147. p. 105–131. 2006.

- NETO. S. L. R.; DAL PIZZOL. F. J.; DEBASTIANI. P. H.; AGOSTINETO. M. C. Comportamento espacial de atributos de planta e de perdas na colheita mecanizada de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.7. n. 1. p. 37-47. 2008.
- NIEKAMP, JASON W.; JOHNSON, WILLIAM G.; SMEDA, REID J. Broadleaf Weed Control with Sulfentrazone and Flumioxazin in No-Tillage Soybean (*Glycine max*). **Weed Technology**, v. 13, n. 2, p. 233–238, 1999.
- NOHATTO. M. A.; AGOSTINETTO. D. LANGARO. A. C.; OLIVEIRA. C.; RUCHEL. Q. Antioxidant activity of rice plants sprayed with herbicides. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46. n. 1. p. 28-34. 2016.
- OERKE, E. C. Crop losses to pests. **The Journal of Agricultural Science**, v. 144, p. 31–43, 2006.
- OLIVERIA. M.G. et al. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. 2018. Livro técnico (CNPAP). Brasília. DF: Embrapa. 2018. 59 p. ISBN: 978-85-7035-770-0.
- OLIVOTO, TIAGO.; LÚCIO, A. DAL'COL. “metan: An R package for multi-environment trial analysis.” **Methods in Ecology and Evolution**, v. 11, n. 6, p. 783–89, 2020.
- PAGNONCELLI JR. F. B.; VIDAL. R. A.; TREZZI. M. M.; GALLON. M.; BRUSAMARELLO. A. P. Characterization of Ethoxysulfuron Herbicide Selectivity in Common Bean Cultivars. **Planta Daninha**, v. 36. 2018.  
<https://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582018360100113>
- PAGNONCELLI JR. F. D. B. Resistência ao glyphosate em populações de azevém: estudo de aspectos moleculares e da dinâmica populacional suportando modelos preditivos para controle. 125 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco. 2020.
- PAGNONCELLI JR. F. D. B.; VIDAL. R. A.; TREZZI. M. M.; MACHADO. A.; GALLON. M.; XAVIER. E.; OLIVEIRA. M C. Tolerance of common bean plants to ethoxysulfuron herbicide and the mechanism involved in the process. **Planta Daninha**, v. 34. n. 3. p. 535-543. 2016.
- PASSOS, A. B. R. J.; FREITAS, M. A. M.; TORRES, L. G.; SILVA, A. A.; QUEIROZ, M. E. L. R.; LIMA, C. F. Sorption and desorption of sulfentrazone in Brazilian soils. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 48, n. 8, p. 646–650, 2013.
- POLING. K. W.; RENNER. K. A.; PENNER. D. Dry Edible Bean Class and Cultivar Response to Dimethenamid and Metolachlor. **Weed Technology**, v. 23. n. 1. p. 73–80. 2009.
- PROCÓPIO. S. O.; BRAZ. A. J. B. P.; BARROSO. A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO. A.; CRUVINEL. K. L.; BETTA. M.; BRAZ. G. B. P.; FRAGA FILHO. J. J. S.; CUNHA JÚNIOR. L. D. Potencial de uso dos herbicidas chlorimuron-ethyl. imazethapyr e cloransulam-methyl na cultura do feijão. **Planta Daninha**, v. 27. n. 2. p. 327-336.

2009.

PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; ARAÚJO, E. F.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; FERREIRA, L. R. Efeito do tamanho de sementes sobre a tolerância do feijoeiro ao s-metolachlor, em condições de baixa temperatura. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 2, n. 3, p. 133-141, 2001a.

PROCÓPIO, S.O., SILVA, A.A., FERREIRA, L.R., MIRANDA, G.V., & SANTOS, J.B. Tolerância de cultivares de feijão ao s-metolachlor em diferentes condições de aplicação. **Planta Daninha**, v. 19, n. 2, p. 263-271, 2001b.

REZENDE, A. A.; PACHECO, M. T. B.; SILVA, V. S. N. DA; FERREIRA, T. A. P. DE C. Nutritional and protein quality of dry Brazilian beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Science and Technology**, v. 38, n. 3, p. 421-427, 2018.

RIGON, C. A. G.; GAINES, T. A.; KUEPPER, A.; DAYAN, F. Metabolism-based herbicide resistance, the major threat among the non-target site resistance mechanisms. **Outlooks on Pest Management**, v. 31, n. 4, p. 162-168, 2020.

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.

RITZ, C., CEDERGREEN, N., JENSEN, J. E., & STREIBIG, J. C. Relative potency in nonsimilar dose–response curves. **Weed Science**, v. 54, n. 3, p. 407–412, 2006.

RITZ, C.; STREIBIG, J. C. **Dose response curves and other nonlinear curves in Weed Science and Ecotoxicology with the add-on package drc in R**. Disponível em: [www.bioassay.dk](http://www.bioassay.dk). Acesso em: 27 set 2020.

RODRIGUES, B. N.; LIMA, J.; YADA, I. F. U. Retenção pela palhada, de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da soja, em plantio direto. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 55, n. 67, 2000.

RSTUDIO TEAM. RStudio: **Integrated Development for R**. RStudio. Boston. United States. 2018. Disponível em: <http://www.rstudio.com/> Acesso em: 20 jul 2020.

SAIRAM, R. K.; SRIVASTAVA, G. C.; SAXENA, D. C. Increased antioxidant activity under elevated temperatures: a mechanism of heat stress tolerance in wheat genotypes. **Biologia Plantarum**, v. 43, n. 2, p. 245–251, 2000.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBREERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J.F.; OLIVEIRA, J. B. de. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SCANDALIOS, J.G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 38, n. 7, p. 995-1014, 2005.

SCHMUTZ, J. *et al.* A reference genome for common bean and genome-wide analysis of dual domestications. **Natural Genetics**, v. 46, p. 707–713, 2014.

- SENSEMAN. S. A. Herbicide handbook. 9.ed. Lawrence: Weed Science Society of America. 2007; 458 p.
- SHABALA. S.; CUIN. T. A. (Eds.). Plant Salt Tolerance: Methods and Protocols. Methods in Molecular Biology. London: Humana Press. 432 p. **Methods in Molecular Biology**, 2012. ISBN 978-1-61779-986-0.
- SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S.; PESSARAKLI, M. Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions. **Journal of Botany**, v. 2012, p. 2090-20120, 2012.
- SHERMAN, T. D.; BECERRIL, J. M.; MATSUMOTO, H.; DUKE, M. V.; JACOBS, J. M.; JACOBS, N. J.; DUKE, S. O. Physiological basis for differential sensitivities of plant species to protoporphyrinogen oxidase-inhibiting herbicides. **Plant Physiology**, v. 97, p. 280-287, 1991.
- SHOUP, E. D.; AL-KHATIB, K.; PETERSON, D. E. Common waterhemp (*Amaranthus rudis*) resistance to protoporphyrinogen oxidase-inhibiting herbicides. **Weed Science**, v. 51, n. 2, p. 145-150, 2003.
- SILVA. K. S.; FREITAS. F. C. L.; SILVEIRA. L. M.; LINHARES. C. S.; CARVALHO. D. R.; LIMA. M. F. P. Eficiência de herbicidas para a cultura do feijão-caupi. **Planta Daninha**, v. 32. n. 1. p. 197-205. 2014.
- SILVA. O. F.; WANDER. A. E. O feijão-comum no Brasil passado. presente e futuro. Santo Antônio de Goiás. Embrapa Arroz e Feijão. Documentos 287. 2013; 63 p.
- SILVA, S. B. Análise de Solos Para Ciências Agrárias / 2. ed. - Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018. 167 p.
- SIMÃO, A. A.; CASIMIRO. E. L. Efeitos de herbicidas pré-emergentes na cultura da soja (*Glycine max*). **Revista Cultivando o Saber**, Edição Especial, p. 100-107, 2017.
- SIMPLÍCIO, F. J. T.; ESPOSTI, C. D.; TOFFOLI, C. R.; SILVA, D. G.; KUVA, M. A. Herbicide sulfentrazone in the control of weed plants in initial posts-emergency of sugarcane crop. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 11, n. 1, p. 99-103, 2018.
- 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.; NURSE. R.; SIKKEMA. P. H. Sensitivity of adzuki. kidney. small red Mexican and white beans to pethoxamid. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 98. n. 1. p. 141-146. 2017.
- SOLTANI. N.; SHROPSHIRE. C.; SIKKEMA. P. H. Responses of Various Market Classes of Dry Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to Linuron. **Weed Technology**. v. 20. n. 1. p. 118–122. 2006.
- SOLTANI. N.; SHROPSHIRE. C.; SIKKEMA. P. Tolerance of mung bean to postemergence herbicides. **Agricultural Sciences**, v. 4. n. 10. p. 558-. 562, 2013.
- SOLTANI. N.; SHROPSHIRE. C.; SIKKEMA. P. Response of Dry Bean to

- Sulfentrazone Plus Imazethapyr. **International Journal of Agronomy**, v. 2014, n.1, p. 1–6, 2014a.
- SOLTANI. N.; SHROPSHIRE. C.; SIKKEMA. P. Sensitivity of Dry Bean to Dimethenamid-p. Saflufenacil and Dimethenamid-p/Saflufenacil. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5. n. 21. p. 3288-3294. 2014b.
- SOLTANI. N *et al.* Potential Yield Loss in Dry Bean Crops Due to Weeds in the United States and Canada. **Weed Technolgy**. v. 32. n. 3. p. 342–346. 2018.
- SOMERVILLE. G. J.; POWLES. S. B.; WALSH. M. J.; RENTON. M. Modeling the Impact of Harvest Weed Seed Control on Herbicide-Resistance Evolution. **Weed Science**, v. 66. n. 3. p. 395–403, 2018.
- SONG, N. H.; YIN, X. L.; CHEN, G. F.; YANG, H. Biological responses of wheat (*Triticum aestivum*) plants to the herbicide chlorotoluron in soils. **Chemosphere**, v. 68, n. 9, p. 1779–1787, 2007.
- SRIVASTAVA. M. K.; DWIVEDI. U. N. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. **Plant Science**, v. 158. p. 87–96, 2000.
- TAKANO, H. K. *et al.* Potencial de utilização do clomazone em cultivares de feijoeiro comum. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.11, n.2, p.187-195, 2012.
- TAURIRA, M.; MOSES, M. Effects of plant density and planting arrangement in green bean seed production. **Journal of Global Innovations in Agricultural and Social Sciences**, v 2, n. 4, p. 152-157, 2014.
- TAZIAR, A.; SOLTANI, N.; SHROPSHIRE, C.; ROBINSON, D.; LONG, M.; GILLARD, C.; SIKKEMA, P. Response of Four Dry Bean Market Classes to Pre-Emergence Applications of Pyroxasulfone, Sulfentrazone and Pyroxasulfone plus Sulfentrazone. **American Journal of Plant Sciences**, v. 7, p. 1217-1225, 2016.
- TAZIAR. A. N.; SOLTANI. N.; SHROPSHIRE. C.; ROBINSON. D. E.; LONG. M.; GILLARD. C. L.; SIKKEMA. P. H. Tolerance of Four Dry Bean Market Classes to Pre-Emergence Applications of Sulfentrazone. **American Journal of Plant Sciences**, v. 7. n. 15. p. 2248-2256. 2016b.
- TAZIAR. A. N.; SOLTANI. N.; SHROPSHIRE. C.; ROBINSON. D. E.; LONG. M.; GILLARD. C. L.; SIKKEMA. P. H. Sulfentrazone tank mix partners for weed control in white bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Canadian Journal of Plant Science**, v. 96. n. 6. p. 1037-1044. 2017.
- TIND, T.; MATHIESEN, T. F.; RITZ, C.; STREIBIG, J. C. Using a selectivity index to evaluate logarithmic spraying in grass seed crops. **Pest Management Science**, n. 65, v. 11, p. 1257–1262, 2009.
- 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.

TRIPATHY. B. C.; MOHAPATRA. A.; GUPTA. I. Impairment of the photosynthetic apparatus by oxidative stress induced by photosensitization reaction of protoporphyrin IX. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1767. n. 6. p. 860–868. 2007.

URWIN. C. P.; WILSON. R. G.; MORTENSEN. D. A. Response of Dry Edible Bean (*Phaseolus vulgaris*) Cultivars to Four Herbicides. **Weed Technology**, v. 10. n. 3. p. 512–518. 1996.

VALENTINI. G.; GONÇALVES-VIDIGAL. M. C.; ELIAS. J. C. F.; MOIAN. L. D.; MINDO. N. N. A. Population Structure and Genetic Diversity of Common Bean Accessions from Brazil. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 36. p. 897-506. 2018.

VELHO. L. P. S. et al. Phenotypic correlation and direct and indirect effects of aerial part components with root distribution of common bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52. n. 5. p. 328-334. 2017.

VIDAL, R. A.; PORTUGAL, J.; SKORA NETO, F. **Nível crítico de dano de infestantes em culturas anuais**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. 133p.

VILA-AIUB, M. M.; VIDAL, R. A.; BALBI, M. C.; GUNDEL, P. E.; TRUCCO, F.; GHERSA, C. M. Glyphosate-resistant weeds of South American cropping systems: an overview. **Pest Management Science**, v. 4, n. 4, p. 366–371, 2008.

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.

WATANABE, N. *et al.* Dual targeting of spinach protoporphyrinogen oxidase II to mitochondria and chloroplasts by alternative use of in-frame initiation codons. **Journal of Biological Chemistry**, v. 276, n. 23, p. 20447-20481, 2001.

WERCK-REICHHART, D.; HEHN, A.; DIDIERJAN, L. Cytochromes P450 for engineering herbicide tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 5, n. 3, p. 116-123, 2000.

WICKHAM. H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. Springer-Verlag New York. 2016.

WILLENBORG, C. J.; BRÛLÉ-BABEL, A. L.; FRIESEN, L. F.; VAN ACKER, R. C. Response of Heterozygous and Homozygous Imidazolinone-Resistant Spring Wheat Genotypes to Imazamox. **Crop Science**, v. 48, n. 6, p. 2107–20114, 2008.

WU, G. L., CUI, J., TAO, L., & YANG, H. Fluroxypyr triggers oxidative damage by producing superoxide and hydrogen peroxide in rice (*Oryza sativa*). **Ecotoxicology**, v. 19, n.1, p. 124–132, 2009.

XAVIER, E. **Mecanismo de tolerância a herbicidas inibidores da ALS em cultivares de aveia branca (*Avena sativa* L.)**. 2018. 180 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

XAVIER. E.; TREZZI. M. M.; OLIVEIRA. M. C.; VIDAL. R. A.; BRUSAMARELLO. A. P.

Activity of Antioxidant Enzymes in *Euphorbia heterophylla* Biotypes and their Relation to Cross Resistance to ALS and Protox Inhibitors. **Planta Daninha**, v. 36. 2018.

<https://doi.org/10.1590/s0100-83582018360100138>

YU, Q.; POWLES, S. B. Resistance to AHAS inhibitor herbicides: current understanding. **Pest Management Science**, v. 70, n. 9, p. 1340-1350, 2014b.

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.

ZHANG, J. J.; LU, C. Y.; ZHANG, J. J.; TAN, R. L.; YANG, H. Accumulation and toxicological response of atrazine in rice crops. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 102, p. 105–112, 2014.

**APÊNDICES**

**Apêndice 1 – Nome os genótipos. classe comercial. instituição/mantenedor do genótipo. genealogia. ciclo e ano de lançamento.**

Genótipos	Instituição/Mantenedor	Genealogia	<sup>1</sup> PMS (g)	<sup>2</sup> Ciclo (dias)	<sup>3</sup> Porte	<sup>4</sup> Lançamento (ano)
Adzuki	-	-	110.5	75	Ereto	-
ANFC 09	AGRO NORTE PESQUISA & SEMENTE LTDA	-	275	94	Ereto	2012
ANFP 110	AGRO NORTE PESQUISA & SEMENTE LTDA	-	232	85	Ereto	2014
Bico de Ouro	-	-	227	250	Semi-ereto/Ereto	-
BRS Agreste	EMBRAPA	CB 912052/AN 9022180	250	80	Semi-ereto/Ereto	2009
BRS Embaixador	EMBRAPA	XAN 42/G 13922	630	80	Ereto	2008
BRS Esplendor	EMBRAPA	CB911863 / AN9123293	210	90	Ereto	2008
BRS Esteio	EMBRAPA	FT85-113 / POT 51	240	90	Ereto	2012
BRS Estilo	EMBRAPA	EMP 250 /4/ A 769 /// A 429 / XAN 252 // V 8025 / PINTO VI 114	264.8	83	Ereto	2009
BRS Executivo	EMBRAPA	A 192/BAT1274	760	90	Semi-ereto	2008
BRS FP 403	EMBRAPA	POT 51. ICA Pijao. XAN 170. BAC 16 e XAN 91	269.5	86	Ereto	2017
BRS Novaera	EMBRAPA	TE97-404- 1F e TE97-404-3F	200	70	Semi-ereto	2007
Pérola	UFV/EMBRAPA/EPAMIG	Seleção do cultivar Aporé	260	90	Semi-ereto	1998
BRS Pitanga	EMBRAPA	-	294	83	Ereto	2005
BRS Radiante	EMBRAPA	Pompadour/Iraí	435	80	Ereto	2002
BRSMG Realce	EPAMIG/UFLA/UFV/EMBRAPA	PR 93201472/PR 95105259	350.5	67	Ereto	2011
BRSMG Talismã	EMBRAPA	-	260	85	Prostrado	2002
BRSMG Uai	EPAMIG/UFLA/UFV/EMBRAPA	-	240	78	Ereto	2015
IAC Esperança	INSTITUTO AGRONÔMICO – IAC	Jalo Itararé x IAC Carioca – Eté	343	96	Semi-ereto	2009
IAC Galante	INSTITUTO AGRONÔMICO – IAC	{{(IAC Carioca Aruã G5686) x [(Xan251 . IAC Carioca Akytã) (IAC Carioca Pyatã . Mar 1)]} x L317-1.	250	92	Ereto	2007
IAC Harmonia	INSTITUTO AGRONÔMICO – IAC	IAC Carioca Aruã x Iraí	415	75	Ereto	2007
IAC Imperador	INSTITUTO AGRONÔMICO – IAC	[(IAC Carioca Eté x Carioca Precoce) x IAC Carioca Eté] x 60 Dias	270	75	Semi-ereto	2012
IAC Milênio	INSTITUTO AGRONÔMICO – IAC	BRSMG Majestoso and the line Gen 96A98-15-3-52-1	290	90	Semi-ereto	2013
IAC Nuance	INSTITUTO AGRONÔMICO – IAC	-	510	75	Semi-ereto	2016
IAC Veloz	INSTITUTO AGRONÔMICO – IAC	-	225	75	Ereto	2017
IAPAR 81	IAPAR	A248/EMP117/4/BAT 93/2/Carioca sel 99/G. N. Nebraska 1#27/3/Sel.Aroana	251	92	Ereto	1998
IPR Andorinha	IAPAR	SEL 37-20 x IPR Colibri	271	73	Ereto	2013
IPR Chopim	IAPAR	-	232	88	Ereto	2004
IPR Corujinha	IAPAR	-	220	87	Ereto	2009
IPR Garça	IAPAR	Sel. Linhagem CIAT	496	67	Ereto	2008
IPR Graúna	IAPAR	EP 173/2/Rio Iguaçu/Great Northern 1 sel#27/3/Rio Tibagi/ Cornell 49242/4/IAPAR BAC 25/5/IAPAR BAC 26	241	86	Ereto	2002
IPR Nhambu	IAPAR	-	260	88	Ereto	2014
IPR Tangará	IAPAR	LP95-92/Pérola	245.9	87	Ereto	2008
IPR Tiziu	IAPAR	-	205	89	Ereto	2007
IPR Tuiuiu	IAPAR	IPR Uirapuru/Xamego	227	88	Ereto	2009
IPR Uirapuru	IAPAR	BAC/PR1711/3/NEP2/2/Puebla173/lcapijao	246	86	Ereto	2000
IPR Urutau	IAPAR	-	230	84	Ereto	2018
Jalo Precoce	EMBRAPA	-	355.1	72	Semi-ereto	1998
Moyashi	-	-	53.5	100	Trepador	-
TAA DAMA	AGROPECUÁRIA TERRA ALTA S/S LTDA	-	283	89	Prostrado	2013

<sup>1/</sup>, <sup>2/</sup>, <sup>3/</sup> e <sup>4/</sup> Informado pela empresa/instituição mantenedora do genótipo. classificado de acordo com CIAT (1987). <sup>3/</sup>Precoce: inferior a 75 dias. Semi-precoce: entre 75 e 85 dias. Normal: entre 85 e 90 dias. Tardio: maior que 90 dias.

**Apêndice 2** – Análise de variância de 40 genótipos brasileiros de feijão submetidos à aplicação de sulfentrazone. em relação à parâmetros fisiológicos. morfológicos e tolerância relativa.

Variável	Fator de variação			
	Herbicida	Genótipo	Genótipo* Herbicida	Erro
$C_i$	<sup>1/</sup> 17888,3**	3318,7**	6210,7**	417,8
$E$	0,9238*	1,83418**	1,02387**	0,15839
$g_s$	0,0050513**	0,0012768**	0,0005462**	0,0002087
$A_N$	519,2**	21,81**	14,69**	4,49
$E_iC$	0,0089915**	3313,0**	0,000246**	0,000073
Grau de liberdade	1	39	39	240
ALT	10059,9**	104,7**	44,4**	6,6
TR	268251,0**	602,0**	602,0**	72,0
AF	323259,0**	4774,0**	1790,0**	500,0
MSPA	0,47101**	0,0139**	0,00381**	0,00121
CCT	680,07**	108,06**	106,50**	36,45
Grau de liberdade	1	39	39	160
Variável	Fator de variação		Erro	
	Genótipo			
ITH	0,1776**		0,04473	
ISH	1,05234**		0,30735	
Grau de liberdade	39		120	

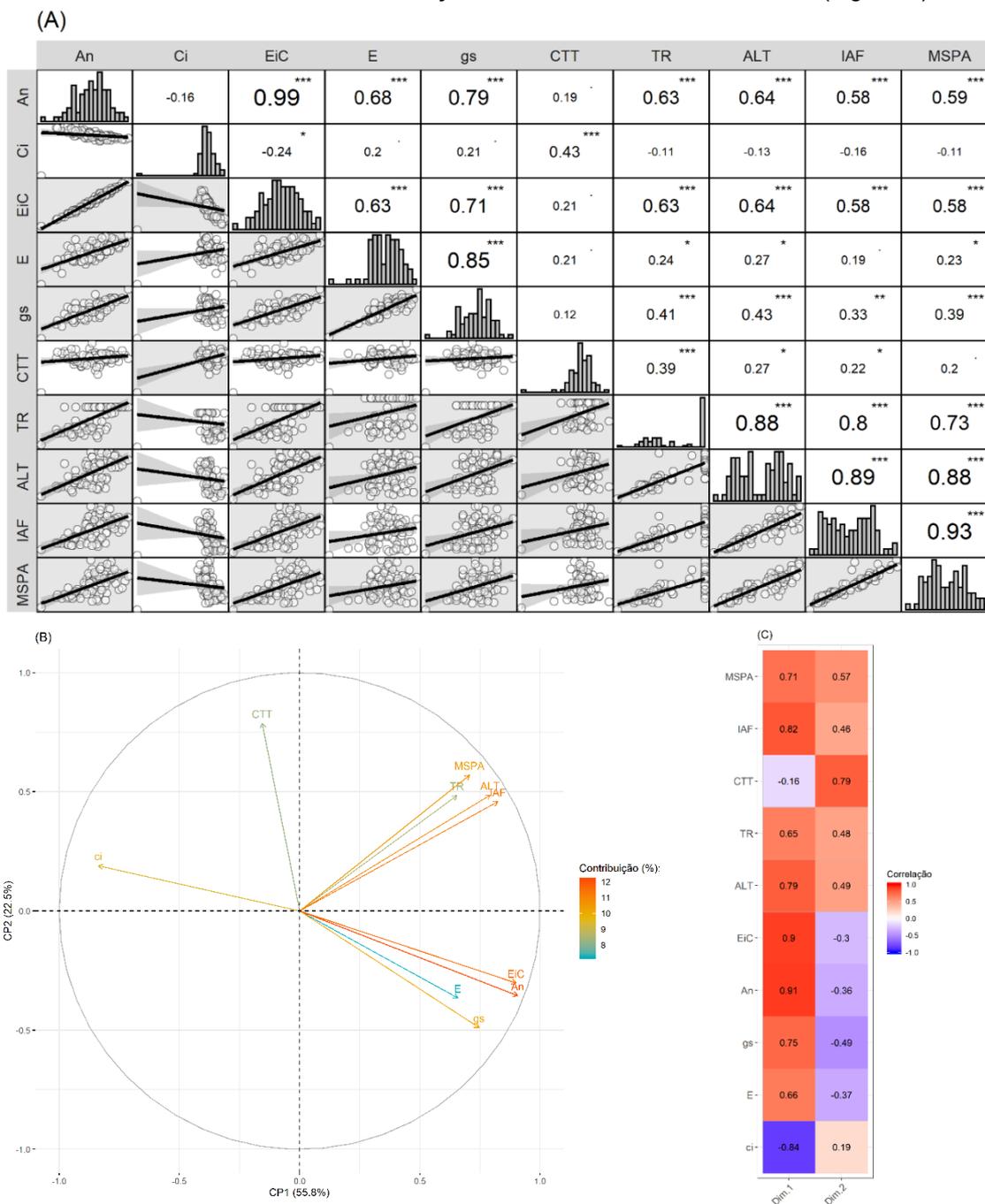
<sup>1/</sup>Quadrado médio do erro. \* e \*\* significativo a 1( $p \leq 0.01$ ) e 5% ( $p \leq 0.05$ ) de probabilidade de erro via teste F. respectivamente.  $C_i$  (concentração interna de  $CO_2$  foliar).  $E$  (taxa transpiratória).  $g_s$  (condutância estomática).  $A_N$  (taxa de assimilação líquida de  $CO_2$ ).  $E_iC$  (eficiência instantânea da carboxilação). ALT (altura). TR (tolerância relativa). AF (área foliar). MSPA (massa seca da parte aérea). CCT (conteúdo de clorofila total). ITH (índice de tolerância ao herbicida) e ISH (Índice de sensibilidade ao herbicida).

**Apêndice 3 – Imagem da semente dos genótipos avaliados.**



Fonte: autoria própria.

**Apêndice 4** – Correlação de Pearson entre as variáveis taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $A_N$ ), concentração interna de  $\text{CO}_2$  foliar ( $C_i$ ), eficiência instantânea da carboxilação ( $E_iC$ ), taxa transpiratória ( $E$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), clorofila total (CTT), tolerância relativa (TR), altura (ALT), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) de 40 genótipos de brássicas submetidos à aplicação de sulfentrazone (Figura A). Contribuição (%) das variáveis avaliadas para a determinação do componente principal 1 (CP1) e 2 (CP2) (Figura B). Correlação entre a contribuição das variáveis e a variação dos dados nas dimensões 1 e 2 (Figura C).



**Apêndice 5** – Comparação dos modelos *m0* e *m1* para as variáveis analisadas, número de parâmetros (npar), índice de determinação de Akaike (AIC), critério de informação bayesiano (BIC), log da máxima verossimilhança (logLik), desvio, valor de qui-quadrado ( $\chi^2$ ), probabilidade.

Variável	Modelo	npar	AIC	BIC	logLik	Desvio	$\chi^2$	Pr(>Chisq)	
TR14 <sup>1/</sup>	<i>m0</i>	15	915,19	957,97	-442,59	885,19	6,8881	0,0086	** <sup>2/</sup>
	<i>m1</i>	14	920,08	960	-446,04	892,08			
TR28	<i>m0</i>	15	938,96	981,74	-454,48	908,96	0,1331	0,7152	ns
	<i>m1</i>	14	937,1	977,02	-454,55	909,1			
EST14	<i>m0</i>	15	488,59	531,37	-229,29	458,59	61,139	5,32E-15	***
	<i>m1</i>	14	547,73	587,65	-259,86	519,73			
EST28	<i>m0</i>	15	523,17	565,95	-246,59	493,17	10,047	0,001526	**
	<i>m1</i>	14	531,22	571,15	-251,61	503,22			
ALT14	<i>m0</i>	15	529,48	572,26	-249,74	499,48	1,4421	0,2298	ns
	<i>m1</i>	14	528,92	568,85	-250,46	500,92			
ALT28	<i>m0</i>	15	789,52	832,3	-379,76	759,52	37,065	1,14E-09	***
	<i>m1</i>	14	824,58	864,51	-398,29	796,58			
CCT	<i>m0</i>	15	730,77	773,55	-350,38	700,77	0,1000	0,9998	ns
	<i>m1</i>	14	728,77	768,7	-350,38	700,77			
AF	<i>m0</i>	15	1561,5	1604,2	-765,73	1531,5	61,818	3,77E-15	***
	<i>m1</i>	14	1621,3	1661,2	-796,64	1593,3			
MSPA	<i>m0</i>	15	283,19	325,97	-126,59	253,19	57,69	3,07E-14	***
	<i>m1</i>	14	338,88	378,81	-155,44	310,88			
ESTF	<i>m0</i>	15	480,65	523,43	-225,32	450,65	18,085	2,11E-05	***
	<i>m1</i>	14	496,73	536,66	-234,37	468,73			
ALTF	<i>m0</i>	15	1089,1	1131,9	-529,56	1059,1	92,132	2,20E-16	***
	<i>m1</i>	14	1179,2	1219,2	-575,63	1151,2			
DMC	<i>m0</i>	15	383,46	426,24	-176,73	353,46	7,4486	0,006349	**
	<i>m1</i>	14	388,9	428,83	-180,45	360,9			
NRP	<i>m0</i>	15	373,53	416,31	-171,77	343,53	2,8079	0,0938	ns
	<i>m1</i>	14	374,34	414,27	-173,17	346,34			
NVP	<i>m0</i>	15	708,31	751,09	-339,16	678,31	80,454	2,20E-16	***
	<i>m1</i>	14	786,77	826,69	-379,38	758,77			
NGV	<i>m0</i>	15	377,24	420,02	-173,62	347,24	19,846	8,39E-06	***
	<i>m1</i>	14	395,09	435,02	-183,54	367,09			
MMG	<i>m0</i>	15	1243,1	1285,9	-606,57	1213,1	42,255	8,01E-11	***
	<i>m1</i>	14	1283,4	1323,3	-627,7	1255,4			
UMG	<i>m0</i>	15	650,21	692,99	-310,1	620,21	0,1498	0,6987	ns
	<i>m1</i>	14	648,36	688,28	-310,18	620,36			
RG	<i>m0</i>	15	1956,4	1999,2	-963,21	1926,4	12,838	0,0003397	***
	<i>m1</i>	14	1967,3	2007,2	-969,63	1939,3			

<sup>1/</sup> TR14 e TR28: tolerância aos 14 e 28 dias após a aplicação (DAA), EST14 e EST28: estande de plantas aos 14 e 28 DAA, ALT14 e ALT28: altura aos 14 e 28 DAA, CCT: conteúdo de clorofila total, AF: área foliar, MSPA: massa seca da parte aérea, ESTF: estande final, ALTF: altura final, DMC: diâmetro do colmo, NRP: nº de ramos por planta, NVP: nº de vagens por planta, NGV: nº de grãos por vagem, MMG: massa de mil grãos, UMG: umidade de grãos e RG: rendimento de grãos.

<sup>2/</sup> \*, \*\*, \*\*\* significativo a 0,1 ( $p \leq 0.001$ ), 1 ( $p \leq 0.01$ ) e 5% ( $p \leq 0.05$ ) de probabilidade de erro via teste  $\chi^2$ .  
<sup>ns</sup> não significativo via teste  $\chi^2$ .

**Apêndice 6** – Efeitos fixos (EF), grau de liberdade (GL) e quadrado médio do erro (QME) e significância das avaliações iniciais e finais de classes comerciais de feijão submetidas a aplicação de sulfentrazone.

EF	GL	QME - Avaliações iniciais								
		<sup>2/</sup> TR14	TR28	EST14	EST28	ALT14	ALT28	CCT	AF	MSPA
Bloco	1	14,0 <sup>ns</sup>	41,2 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	0,0212*	0,19 <sup>ns</sup>	8,4 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
Classe Comercial (CC)	4	<sup>3/</sup> 790,2***	1086,7***	21,73***	19,71***	77,61***	0,0851***	467,03***	5764,9***	17,96***
Herbicida (H)	1	27064,0***	28651***	10,79*	47,87***	167,12***	0,2513***	209,19***	1359,8**	32,30***
CC x H	4	790,2***	1086,7***	1,16	6,58*	32,34***	0,0332***	11,98 <sup>ns</sup>	191,5 <sup>ns</sup>	2,92 <sup>ns</sup>
<sup>2/</sup> CV (%)	-	6,73	7,59	17,13	18,8	22,45	8,34	12,18	36,67	31,59

EF	GL	QME - Avaliações finais								
		ESTF	ALTF	DMC	NRP	NVP	NGV	MMG	UMG	RG
Bloco	1	0,68 <sup>ns</sup>	8,4 <sup>ns</sup>	0,0055 <sup>ns</sup>	1,12 <sup>ns</sup>	0,0011 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	0,0059*	1,4 <sup>ns</sup>	0,0009 <sup>ns</sup>
Classe Comercial	4	50,85***	5764,9***	0,1804***	20,60***	0,7901***	216,21***	1,4032***	189,1***	0,9415***
Herbicida (H)	1	47,97***	1359,8**	0,0147*	5,39*	0,0517*	0,358 <sup>ns</sup>	0,0017 <sup>ns</sup>	72,4 **	0,0003 <sup>ns</sup>
CC x H	4	4,02*	191,5 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	0,0162 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,0012 <sup>ns</sup>	22,5*	0,0044 <sup>ns</sup>
CV (%)	-	22,71	29,78	11,4	17,1	19,59	9,15	9,15	22,36	7,78

<sup>1/</sup> TR14 e TR28: tolerância aos 14 e 28 dias após a aplicação (DAA), EST14 e EST28: estande de plantas aos 14 e 28 DAA, ALT14 e ALT28: altura aos 14 e 28 DAA, CCT: conteúdo de clorofila total, AF: área foliar, MSPA: massa seca da parte aérea, ESTF: estande final, ALTF: altura final, DMC: diâmetro do colmo, NRP: nº de ramos por planta, NVP: nº de vagens por planta, NGV: nº de grãos por vagem, MMG: massa de mil grãos, UMG: umidade de grãos e RG: rendimento de grãos.

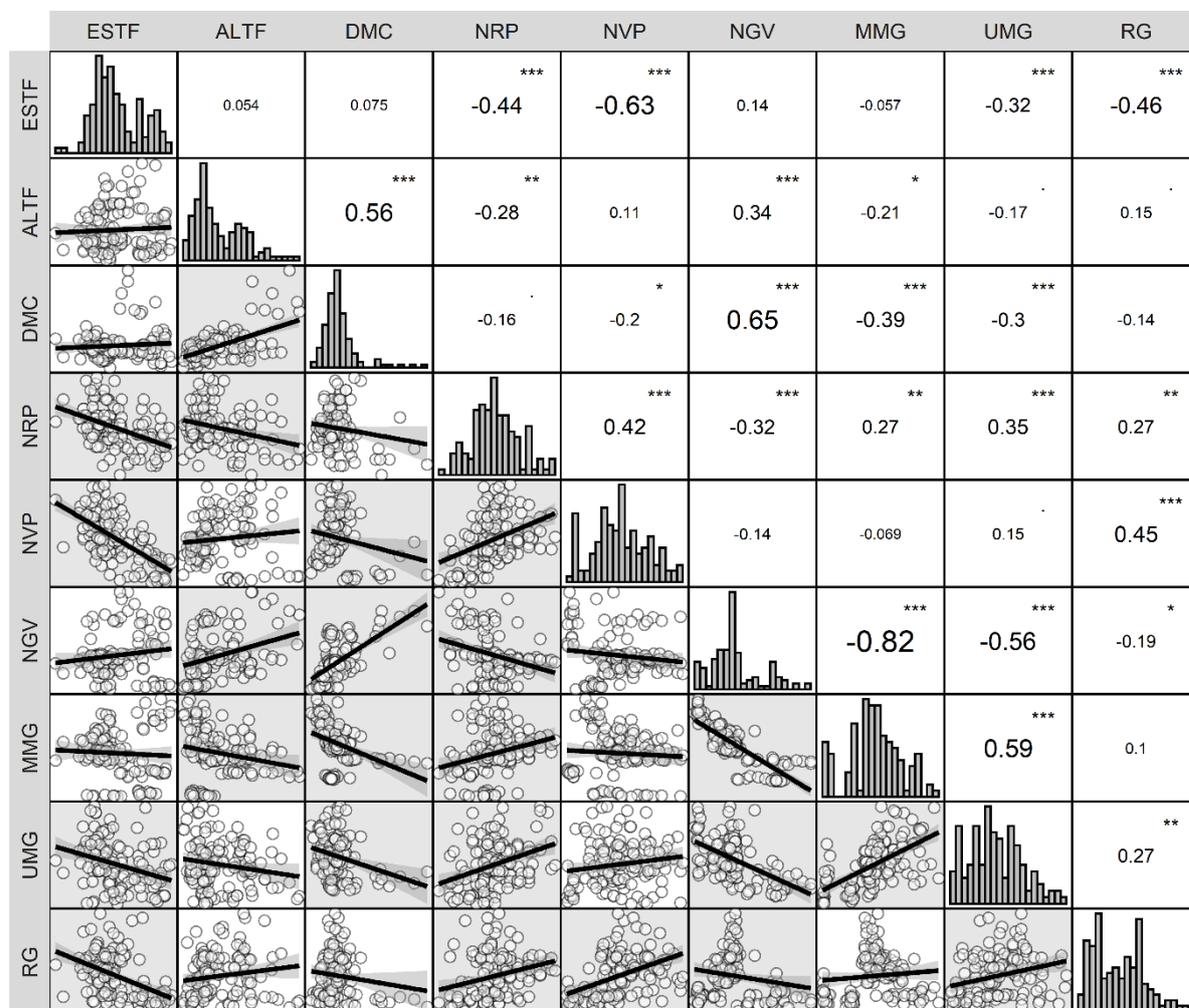
<sup>2/</sup> Coeficiente de variação.

<sup>3/</sup> \*, \*\*, \*\*\* significativo a 0,1 ( $p \leq 0.001$ ), 1 ( $p \leq 0.01$ ) e 5% ( $p \leq 0.05$ ) de probabilidade de erro via teste F.

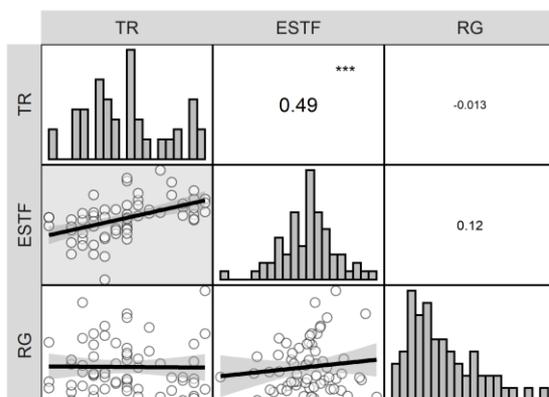
<sup>ns</sup> não significativa via teste F.

**Apêndice 7** – Correlação de Pearson entre as variáveis estande final (ESTF), altura final (ALTF), diâmetro do colmo (DMC), número de ramos por planta (NRP), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (MMG), unidade de grãos (UMG) e rendimento de grãos (RG) (A) e entre as variáveis tolerância relativa aos 28 dias após a aplicação, EST e RG (B) de classes comerciais de feijão submetidas a aplicação de sulfentrazone.

(A)



(B)



**Apêndice 8** – Fator de variação (FV), grau de liberdade (GL) e quadrado médio de erro (QME) para as variáveis tolerância relativa (TR) (%) aos 7, 14 e 21 dias de genótipos de feijão após a aplicação de sulfentrazone (DAA).

FV	QME			
	GL	TR7	TR14	TR21
Genótipo (G)	7	<sup>1/</sup> 318,64**	466,20**	1247,21**
Resíduo	24	39,85	75,44	158,60
<sup>2/</sup> CV (%)	31	10,33	15,25	23,26

<sup>1/</sup>\* e \*\* Significativo a 1% e 5% de probabilidade do erro pelo teste F.

<sup>ns</sup> não significativo;

<sup>2/</sup> Coeficiente de variação.

**Apêndice 9** – Fator de variação (FV), grau de liberdade (GL) e quadrado médio de erro (QME) para as variáveis altura aos 7 (ALT7) (cm planta<sup>-1</sup>), 14 (ALT14), 21 (ALT21) dias após a aplicação de sulfentrazone (DAA) e clorofila a (CLA) (Índice Falker), clorofila b (CLB), conteúdo de clorofila total (CCT) e área foliar (AF) (cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>) de genótipos de feijão após a aplicação de sulfentrazone (DAA).

FV	QME						
	ALT7	ALT14	ALT21	CLA	CLB	CLT	AF
Herbicida (H)	<sup>1/</sup> 0,1744**	0,2352**	0,0825**	0,0534**	91,94**	0,0878**	102818,00 <sup>ns</sup>
Genótipo (G)	0,0420**	0,0479**	0,0511**	0,0165**	4,96**	0,0161**	910227,14**
H x G	0,0009 <sup>ns</sup>	0,0057 <sup>ns</sup>	0,0041 <sup>ns</sup>	0,0062**	3,76**	0,0061**	89199,14 <sup>ns</sup>
Resíduo	0,0019	0,0048	0,0040	0,0017	0,68	0,0017	74871,35
<sup>1/</sup> CV (%)	2,85	4,36	3,9	2,73	11,69	2,62	28,96

<sup>1/</sup>\* e \*\* Significativo a 1% e 5% de probabilidade do erro pelo teste F.

<sup>ns</sup> não significativo;

<sup>2/</sup> Coeficiente de variação.

**Apêndice 10** – Fator de variação (FV), grau de liberdade (GL) e quadrado médio de erro (QME) para as variáveis massa seca da parte aérea (MSPA) (g planta<sup>-1</sup>), atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) (U mg prot<sup>-1</sup>), catalase (CAT) ( $\mu\text{M min}^{-1}$  mg prot<sup>-1</sup>) e peroxidase (POD) ( $\mu\text{M min}^{-1}$  mg prot<sup>-1</sup>) as 24 e 48 horas após a aplicação de sulfentrazone em genótipos de feijão.

FV	QME						
	MSPA	SOD24	SOD48	CAT24	CAT48	POD24	POD48
Herbicida (H)	<sup>1/</sup> 50,82 <sup>ns</sup>	542,40 <sup>**</sup>	32,50 <sup>**</sup>	0,9538 <sup>**</sup>	0,0063 <sup>ns</sup>	3950,00 <sup>ns</sup>	4,5021 <sup>**</sup>
Genótipo (G)	50,56 <sup>**</sup>	1441,48 <sup>**</sup>	435,67 <sup>**</sup>	0,1338 <sup>**</sup>	0,1797 <sup>**</sup>	11695,43 <sup>**</sup>	0,5291 <sup>**</sup>
H x G	6,94 <sup>**</sup>	559,24 <sup>**</sup>	334,63 <sup>**</sup>	0,0673 <sup>**</sup>	0,1899 <sup>**</sup>	1678,57 <sup>ns</sup>	0,7947 <sup>**</sup>
Resíduo	2,78	55,85	86,7	0,017	0,0091	2608,96	0,0342
<sup>2/</sup> CV (%)	25,42	22,08	32,4	5,73	4,6	36,75	9,79

<sup>1/</sup>\* e <sup>\*\*</sup> Significativo a 1% e 5% de probabilidade do erro pelo teste F.

<sup>ns</sup> não significativo;

<sup>2/</sup> Coeficiente de variação.

**Apêndice 11** – Fator de variação (FV), grau de liberdade (GL) e quadrado médio de erro (QME) para as variáveis tolerância relativa (TR) (%) aos 7, 14 e 21 e massa seca da parte aérea (MSPA) (g planta<sup>-1</sup>) de genótipos de feijão submetidos a aplicação de sulfentrazone associado ou não com inibidores da metabolização.

FV	QME			
	TR7	TR14	TR21	MSPA
Tratamento (T)	<sup>1/</sup> 58,03***	5,94***	13,65***	4,04**
Genótipo (G)	307,00***	0,32**	0,55***	0,65***
T x G	2,60***	0,53**	0,37*	0,36**
Resíduo	0,11	4,77	3,66	1,19
<sup>1/</sup> CV (%)	2,25	16,8	16,1	19,3

<sup>1/</sup>\* e \*\* Significativo a 1% e 5% de probabilidade do erro pelo teste F.

<sup>ns</sup> não significativo;

<sup>1/</sup> Coeficiente de variação.