

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

MARCOS VINÍCIUS JAEGER BARANCELLI

**TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE FEIJÃO AO HERBICIDA
SAFLUFENACIL EM PRÉ E PÓS-EMERGÊNCIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2016

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

MARCOS VINÍCIUS JAEGER BARANCELLI

**TOLERÂNCIA DE CUTIVARES DE FEIJÃO AO HERBICIDA
SAFLUFENACIL EM PRÉ E PÓS-EMERGÊNCIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2016

MARCOS VINÍCIUS JAEGER BARANCELLI

**TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE FEIJÃO AO HERBICIDA
SAFLUFENACIL EM PRÉ E PÓS-EMERGÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Michelangelo Muzell Trezzi

PATO BRANCO

2016

Jaeger Barancelli, Marcos Vinícius

Tolerância de cultivares de feijão ao herbicida saflufenacil em pré e pós-emergência / Marcos Vinícius Jaeger Barancelli.

Pato Branco. UTFPR, 2016

50 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Prof. Dr. Michelangelo Muzell Trezzi

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Agronomia. Pato Branco, 2016.

Bibliografia: f. 50 – 52

1. Agronomia. 2. Matologia I. Muzell Trezzi, Michelangelo. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Agronomia. IV. Título.

CDD: 630



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Departamento Acadêmico de Ciências Agrárias
Curso de Agronomia



TERMO DE APROVAÇÃO
Trabalho de Conclusão de Curso - TCC

**TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE FEIJÃO AO HERBICIDA SAFLUFENACIL EM
PRÉ E PÓS-EMERGÊNCIA**

por

MARCOS VINÍCIUS JAEGER BARANCELLI

Monografia apresentada às 08 horas 30 min. do dia 22 de novembro de 2016 como requisito parcial para obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÔNOMO, Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo-assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Paulo Henrique de Oliveira
UTFPR

M.s.c. Antonio Pedro Brusamarello
UTFPR

Prof. Dr. Michelangelo Muzell Trezzi
UTFPR
Orientador

A "Ata de Defesa" e o decorrente "Termo de Aprovação" encontram-se assinados e devidamente depositados na Coordenação do Curso de Agronomia da UTFPR Câmpus Pato Branco-PR, conforme Norma aprovada pelo Colegiado de Curso.

RESUMO

BARANCELLI MARCOS V. J. Tolerância de cultivares de feijão ao herbicida saflufenacil em pré e pós-emergência. 50 f. TCC (Curso de Agronomia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

O herbicida saflufenacil é um inibidor da enzima PROTOX com características que o diferenciam dos demais produtos pertencentes ao mesmo mecanismo de ação. Uma das características mais importantes é a maior translocação, o que permite um controle mais efetivo de várias espécies de plantas. No Brasil, o feijão é uma das culturas economicamente mais importantes no cenário de produção de grãos, sendo produzido principalmente sob o sistema de plantio direto, o qual é dependente do controle químico de plantas daninhas. No entanto, o controle químico de plantas daninhas em lavouras de feijão encontra limitações com relação ao número restrito de produtos disponíveis que apresentam níveis aceitáveis de segurança para a cultura, que apresenta grande sensibilidade à maioria dos produtos comerciais existentes para as modalidades de pré e pós-emergência. Neste contexto, foram realizados experimentos para investigar a existência de tolerância de quatro cultivares de feijão (BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81) a diferentes doses do herbicida saflufenacil aplicado em pré e pós-emergência da cultura. Foram realizadas avaliações de fitotoxicidade às plantas de feijão aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA) do herbicida e de massa verde e massa seca das plantas aos 35 DAA. Na modalidade de pré-emergência também foram avaliados o estande de plântulas germinadas e a altura das plantas aos 7, 14, 21, 28 e 35 DAA. Na modalidade de pré-emergência, a cultivar BRSMG Talismã apresentou tolerância superior ao herbicida saflufenacil dentre as demais cultivares, demonstrando potencial para maiores investigações sobre os mecanismos responsáveis pela tolerância. A cultivar Jalo Precoce apresentou o menor nível de tolerância. Na modalidade de pós-emergência, não houve diferenças entre as cultivares, que apresentaram grande sensibilidade ao herbicida a partir da dose de 1,5 g i.a. ha⁻¹.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., genótipos, sensibilidade, enzima PROTOX.

ABSTRACT

BARANCELLI MARCOS V. J. Dry beans tolerance to herbicide saflufenacil in pre and post emergence. 50 f. TCC (Course of Agronomy) - Federal University of Technology - Paraná. Pato Branco, 2016.

The herbicide saflufenacil is a PROTOX inhibitor with distinct characteristics from other products with the same mechanism of action. One of the most important characteristics is the higher translocation, which allows a better control of species of plants. In Brazil, the dry bean is one the most economically important crops in the grain production scenario, being cultivated mainly under the no-till system, which is dependent to chemical weed control. However, the chemical control of weeds in dry bean fields finds limitations regarding the limited number of commercial products available with a descent level of safety for the crop, which is highly sensible to most pre and post emergence products. In this context, bioassays were carried out to investigate the tolerance of four dry bean genotypes (BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor and IAPAR 81) to the herbicide saflufenacil applied in pre and post emergence. The injury level was evaluated at 7, 14, 21, 28 and 35 DAS (days after spraying) and fresh and dry matter at 35 DAS. In the pre emergence bioassay, the number of seedlings and plant high was also evaluated at 7, 14, 21, 28 and 35 DAS. In pre emergence applications, the genotype BRSMG Talismã showed the highest tolerance level to saflufenacil among other genotypes, showing the potential for future investigations about the mechanisms involved in tolerance. The genotype Jalo Precoce showed the lowest level of tolerance. In the post emergence assay, all genotypes showed the same response to doses, being very injured from the dose 1.5 g i.a. ha⁻¹.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., genotypes, sensibility, PROTOX enzyme.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – stande de plantas de quatro cultivares de feijão (BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81) em resposta a seis doses do herbicida saflufenacil, incluindo a testemunha sem aplicação, avaliado aos 14 (A) e 35 (B) DAA. UTFPR, Pato Branco, 2016. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula indicam que não há diferença significativa entre doses dentro de cada cultivar, pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.
- Figura 2 – Altura de plantas de quatro cultivares de feijão (BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81) a doses de saflufenacil em pré-emergência, em avaliações efetuadas aos 14 (A), 21 (B), 28 (C) e 35 (D) DAA. UTFPR, Pato Branco, 2016.
- Figura 3 – Tolerância de plantas de quatro cultivares de feijão (BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81) a doses de saflufenacil em pré-emergência, em avaliações efetuadas aos 7 (A), 14 (B), 21 (C), 28 (D) e 35 (E) DAA. UTFPR, Pato Branco, 2016.
- Figura 4 – Massa verde (A) e seca (B) de parte aérea de plantas de quatro cultivares de feijão (BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81), na média da aplicação de seis doses do herbicida saflufenacil (0; 9,6; 14,1; 20,5; 30,0 e 43,8 g i.a ha⁻¹). UTFPR, Pato Branco, 2016. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula indicam que não há diferença significativa entre cultivares, pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.
- Figura 5 – Porcentagem de redução da massa seca da parte aérea de quatro cultivares de feijão aos 35 DAA, submetidas à aplicação de seis doses de saflufenacil (0; 9,6; 14,1; 20,5; 30,0 e 43,8 g i.a ha⁻¹) em pré-emergência. UTFPR, Pato Branco, 2016.
- Figura 6 – Tolerância da cultivar de feijão BRSMG Talismã a doses do herbicida saflufenacil (0; 3,1; 4,5; 6,6; 9,6; 14,1; 20,5; 30,0 e 43,8 g i.a ha⁻¹) aplicadas em pós-emergência das plantas, em avaliações efetuadas aos 4, 14 e 21 DAA. UTFPR, Pato Branco, 2016.
- Figura 7 – Tolerância de quatro cultivares de feijão (BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81) aos 14 (A), 21 (B), 28 (C), 35 (D) e 42 (E) DAA de seis doses do herbicida saflufenacil (0; 0,7; 1,0; 1,5; 2,1 e 3,1 g i.a ha⁻¹). UTFPR, Pato Branco, 2016.
- Figura 8 – Diferença entre seis doses do herbicida saflufenacil (0; 0,7; 1,0; 1,5; 2,1 e 3,1 g i.a ha⁻¹), aplicado em pós-emergência em quatro cultivares de feijão (BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81), em relação a massa verde (A) e massa seca (B) de caules e folhas, massa verde (C) e massa seca (D) de caules, folhas e vagens e massa seca (E) e verde (F) de vagens isoladamente, aos 42 DAA. UTFPR, Pato Branco, 2016.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Título Título Título Título Título Título Título Título tabela1 (após aplicar o estilo, negritar “Tabela 1 –”). UTFPR, Campus Pato Branco, 2008.....60
- Tabela 1 – Características do solo utilizado no experimento de tolerância ao herbicida saflufenacil mediante laudo da análise de solo. UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2016.
- Tabela 2 – Características das cultivares de feijão utilizadas no experimento de tolerância ao herbicida saflufenacil. UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2016.
- Tabela 3 – Parâmetros das equações ajustadas para as variáveis tolerância aos 7; 14; 21; 28 e 35 DAA e altura aos 14; 21 e 28 DAA em resposta a aplicação de saflufenacil em diferentes doses 0; 9,6; 14,1; 205; 30; 43,8 g i. a. há⁻¹ em pré-emergência das plantas de feijão.
- Tabela 4 – Parâmetros das equações ajustadas para a variável tolerância aos 7; 14; 21; 28, 35 e 42 DAA em resposta a aplicação de saflufenacil em diferentes doses em pós-emergência da cultura do feijão.

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

DAA	Dias após aplicação
PPI	Pré Plantio Incorporado
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food and Agriculture Organization
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
PROTOX	Protoporfirinogênio Oxidase
EPSPS	5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase
ALS	acetolactate synthase
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
PKA	Constante de acidez
pH	Potencial Hidrogeniônico

LISTA DE ABREVIATURAS

g i. a. ha ⁻¹	Gramas de ingrediente ativo por hectare
Kg	Kilograma
cm	centímetro
mg	miligrama
L	Litro
t	Tonelada
O ₂	Oxigênio
et al.	E outros

LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 GERAL.....	14
2.2 ESPECÍFICOS.....	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.1 CURVA DE DOSE-RESPOSTA EM pré-emergência.....	24
4.2 CURVA DE DOSE-RESPOSTA PRELIMINAR EM pós-emergência.....	25
4.3 ENSAIO EM PÓS-EMERGÊNCIA.....	26
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
6 CONCLUSÕES.....	48
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

O feijão é umas das culturas de grande importância para o cenário econômico brasileiro, estando inserido na dieta da maior parte da população, devido, principalmente, a suas características nutricionais (Ministério da Saúde, 2005). O feijão é cultivado principalmente no sistema de plantio direto, sendo altamente dependente do controle químico de plantas daninhas. A produtividade média dos campos de produção de feijão é considerada baixa devido, em grande parte, a limitações quanto ao número de produtos herbicidas registrados para a cultura nas modalidades de pré e pós-emergência.

O herbicida saflufenacil é um inibidor da enzima PROTOX, que se destaca pela maior translocação e espectro de controle comparativamente aos demais produtos com o mesmo mecanismo de ação (GROSSMAN, 2010). O saflufenacil possui registro para o controle de plantas daninhas em pré-semeadura (dessecação) ou para a dessecação da cultura do feijão em pré-colheita. Em pré-semeadura, deve ser respeitado intervalo mínimo de tempo entre a última aplicação e a semeadura da cultura do feijão de 20 dias, para que não haja redução no rendimento de grãos (BASF, 2013).

Atualmente, existem poucos herbicidas inibidores da PROTOX registrados no mercado para uso na cultura do feijão. Essa restrição é ainda maior com relação à modalidade de pós emergência, devido ao fato de que o feijão apresenta sensibilidade a grande maioria dos produtos no mercado.

No entanto, diferentes cultivares de espécies leguminosas, incluindo o feijão, podem apresentar diferentes níveis de tolerância a herbicidas inibidores da PROTOX quando aplicados em pré-emergência da cultura (SOLTANI; SHROPSHIRE; SIKKEMA, 2010; DIESEL et al., 2014). Os mecanismos responsáveis pela tolerância de algumas cultivares ainda não foram elucidados. Contudo, a constatação de diferentes níveis de tolerância entre genótipos de feijão poderá contribuir para a elucidação dos mecanismos de tolerância. Além disso, a identificação de cultivares mais tolerantes possibilitaria sua utilização em programas de melhoramento, para incrementar os níveis de tolerância de cultivares já conhecidas, que apresentem outros atributos vantajosos. A seleção de cultivares

mais tolerantes pode também auxiliar no desenvolvimento de novas tecnologias, como a inserção de novos herbicidas nas modalidades de pré e pós-emergência do feijão. Isso pode beneficiar a cultura, pois aumenta o número de alternativas de controle e seletividade para o agricultor, facilita a rotação de mecanismos de ação e dessa forma reduz a pressão de seleção de populações de plantas daninhas resistentes.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Determinar níveis de tolerância de cultivares de feijão ao herbicida saflufencil por meio da sua aplicação nas modalidades de pré e pós-emergência.

2.2 ESPECÍFICOS

Determinar a existência de variação na tolerância de cultivares de feijão ao saflufenacil aplicado em pré-emergência das plantas.

Determinar a existência de variação na tolerância de cultivares de feijão ao saflufenacil aplicado em pós-emergência das plantas.

Definir a dose de saflufenacil necessária para reduzir 50% da tolerância para cada cultivar e para cada modalidade de aplicação.

Determinar a existência de correlação positiva da tolerância das cultivares entre as aplicações em pré e pós-emergência.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de grãos, com uma produção total atual de 210,3 milhões de toneladas, em uma área de cultivo de 58 milhões de hectares. Neste cenário, o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) representa 1,6% da produção total de grãos, ocupando uma área de cultivo de aproximadamente 3 milhões de hectares com uma produtividade média de 1100 kg por ha⁻¹, segundo estimativa da Conab, na safra de 2015/2016 (CONAB, 2016). O feijão está inserido como alimento básico na dieta de grande parte da população brasileira, compondo uma das preparações mais tradicionais, associado ao arroz. Juntos, esses dois grãos contemplam grande parte das exigências energéticas e proteicas diárias de um ser humano, além de ser uma importante fonte de minerais como ferro e outras vitaminas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005).

A produção do feijão no Brasil gera empregos e renda em muitas propriedades de agricultura familiar, e atrai médios e grandes produtores com os mais variados níveis de tecnificação (VIEIRA et al., 2005). A adoção de tecnologias envolvendo a mecanização da colheita, irrigação, o manejo integrado de pragas e o melhoramento genético de cultivares tem possibilitado a elevação do teto produtivo da cultura nos últimos anos e potencializado sua inserção em diferentes sistemas de cultivo (solteiro ou consorciado), em vários períodos do ano (safra das águas, da seca e inverno), em todas as regiões brasileiras (CONAB, 2016). Existe uma grande variedade de genótipos de feijão amplamente cultivados no território brasileiro. Os grupos comerciais mais conhecidos são: preto, carioca, Jalo, rajado, vermelho, rosa, branco e fradinho. Entretanto, apesar da forte representatividade do feijão no Brasil, a média de produtividade ainda é muito baixa frente ao potencial produtivo das cultivares atualmente comercializadas.

Dentre os principais fatores responsáveis pela baixa produtividade do feijão, destacam-se a influência dos fatores edafoclimáticos e a interferência de espécies daninhas. Por ser uma cultura anual de ciclo vegetativo relativamente curto, apresenta alta sensibilidade à competição, sobremaneira nas fases iniciais de desenvolvimento, compreendidas entre 15 e 30 dias após a emergência, quando as plantas daninhas competem por fatores de crescimento e espaço

(MATOS et al., 1991). Além disso, plantas daninhas podem ser hospedeiras de pragas e doenças, e promover a liberação de substâncias alelopáticas, reduzindo a qualidade dos grãos e prejudicando a colheita mecanizada (PITELLI, 1985), sendo observadas perdas de rendimento de até quase 90% quando a mato-competição ultrapassa os períodos críticos de prevenção da interferência (KOSLOWSKI et al., 2002).

Neste contexto, o controle das plantas daninhas é um dos fatores mais importantes a serem considerados para assegurar a competitividade da cultura do feijão nos mais diversos sistemas de produção. O manejo das populações de plantas daninhas deve ser realizado criteriosamente, considerando-se todas as possibilidades em termos de métodos de controle. Dentro do manejo integrado de plantas daninhas, os métodos mecânico, físico, cultural, preventivo e químico podem ser empregados visando o melhor controle possível das plantas daninhas na época mais adequada (SILVA et al., 2007).

Dentre todos os métodos, o químico - com utilização de herbicidas - tem sido o mais empregado, devido as inúmeras vantagens que oferece. Destacam-se a sua praticidade para uso em grandes extensões de áreas cultivadas, eficácia no controle e seletividade de plantas sem a ocorrência de distúrbios nas linhas de plantio, amplo ou estreito espectro de controle de espécies, flexibilidade quanto à época de aplicação e ação residual durante os principais períodos de interferência, além de ser atualmente um dos métodos mais econômicos em termos de custo de produção da lavoura (OLIVEIRA Jr.; CONSTANTIN; INOUE, 2011; SILVA, 2007; SOLTANI; BOWLEY; SIKKEMA, 2005).

Os herbicidas podem ser classificados de acordo com suas características próprias de seletividade, mecanismo de ação, época e forma de aplicação, grupo químico, entre outros, facilitando a recomendação de produtos adequados para cada situação (WELLER, 2003). No Brasil, os herbicidas são a classe mais comercializada dentre todos os produtos agrotóxicos, com mais de 100 ingredientes ativos pertencentes a diferentes mecanismos de ação. Contudo, poucos são os herbicidas registrados para a cultura do feijão. Um dos fatores determinantes para isso é a sensibilidade da cultura a muitos herbicidas, embora

muitas informações a esse respeito estejam no ambiente de empresas, não sendo divulgadas ao público em geral.

Saflufenacil é um herbicida do grupo químico das pirimidinadionas (uracila), inibidor da enzima protoporfirinogênio oxidase IX (PROTOX), responsável pela catalização do processo de transformação de protoporfirinogênio IX à protoporfirina IX (BASF, 2013). O efeito sobre a enzima PROTOX gera um acúmulo de protoporfirinogênio IX nos tecidos, que ao sofrer exposição à luz e ao oxigênio, produz espécies reativas de oxigênio (O_2 -singlete – radical livre) capazes de peroxidar lipídios na plasmalema, causando os sintomas na planta através da destruição de membranas celulares e interrupção da síntese de clorofila, hemes e citocromos.

O saflufenacil diferencia-se dos demais herbicidas inibidores da PROTOX por meio de sua ação inicial de inibição mais lenta e mais equilibrada após a absorção, o que possibilita a sua translocação pelas vias acropetal e basipetal, alcançando longas distâncias nos tecidos das plantas de diversas espécies, comportamento este, devido à estabilidade metabólica do herbicida. A presença de um próton ácido no átomo de nitrogênio na posição amina torna a molécula um ácido fraco, característica única dentre os herbicidas inibidores da PROTOX (GROSSMAN, 2010).

O herbicida saflufenacil foi registrado para uso no Brasil em 2013 pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA sob nº 01013) para o controle das principais espécies de folha larga - inclusive resistentes ao herbicida glyphosate - nas culturas da soja, milho, feijão, algodão, trigo e cana-de-açúcar em pré-plantio em sistema de plantio direto, e em dessecação em pré-colheita de feijão, soja, algodão, batata e girassol. Em doses mais elevadas, o saflufenacil apresenta maior persistência em solos com teor de argila superior a 30% sendo indicado, em sistema de plantio direto, um intervalo mínimo de 20 dias entre a aplicação do produto e a semeadura das culturas do feijão e do algodão (BASF, 2013).

A persistência de um herbicida no ambiente, é definida como a sua capacidade de manter a integridade de sua molécula, conservando suas características físicas, químicas e biocidas por um determinado período

(GUIMARÃES, 1987). Este comportamento está diretamente relacionado a fatores como: adsorção, sorção, lixiviação, escoamento superficial, transformação e degradação biológica e química, absorção e decomposição pelas plantas. A interação entre estes fatores acaba gerando também impacto na seletividade dos herbicidas em relação às plantas cultivadas (FERRI; VIDAL, 2002).

A seletividade do saflufenacil, quando aplicado no solo, é por posicionamento ou física (BASF, 2013), sendo, portanto, as condições do solo e do ambiente fortemente relacionadas com o seu desempenho no controle de plantas daninhas, e de extrema importância para a cultura subsequente à aplicação devido aos possíveis efeitos fitotóxicos que podem ser causados pela presença de moléculas bioativas no solo. Em condições de alta umidade, a dissipação do herbicida no ambiente acontece mais rapidamente. A persistência de saflufenacil em Latossolo Vermelho Distroférrico sob condição de umidade favorável foi de 25 dias após a aplicação (DAA), utilizando como planta bioindicadora a variedade de feijão IPR Tiziu (Diesel, 2013), enquanto sob condição de restrição hídrica controlada, Monquero et al. (2012) constataram a presença do herbicida em solo até 90 DAA. No entanto, a persistência e eficácia do produto pode variar em diferentes ambientes produtivos.

O teor de matéria orgânica é apontado como sendo o principal fator relacionado a eficiência do herbicida saflufenacil aplicado em PRÉ e PPI (pré plantio incorporado) no solo (GANNON et al., 2014), devido as características químicas da molécula, que possui pKa (constante de equilíbrio ácido-base) de 4,41 e alta solubilidade em água, com Ks (constante de equilíbrio de dissolução) variando de 30 a 2100 mg L⁻¹ em uma faixa de pH entre 5 e 7, respectivamente, o que permite que o mesmo permaneça na forma aniônica em grande parte dos solos utilizados na agricultura, diminuindo assim o efeito de sorção e aumentando a sua movimentação no perfil do solo (GROSSMAN et al., 2010). Sob esta ótica, Gannon et al. (2014) sugerem que as doses de um herbicida devem ser ajustadas com base no tipo de solo.

Solos com baixos teores de argila e matéria orgânica também diminuem a barreira física natural, aumentando a mobilidade do herbicida saflufenacil no solo, permitindo que este seja absorvido pelas estruturas de

crescimento inicial (hipocótilo em dicotiledôneas e coleóptilo em monocotiledôneas, e sistema radicular em desenvolvimento), e translocado para as demais regiões meristemáticas, tais como novas raízes e novas folhas (GROSSMAN, 2011). O incremento da dose utilizada, pode, portanto, prolongar o efeito residual do herbicida saflufenacil, bem como diminuir a sua seletividade, caso a cultura não seja tolerante ao mecanismo de ação.

Os principais mecanismos de tolerância e resistência de plantas a herbicidas são a capacidade de absorção, retenção, translocação e metabolização de compostos (OLIVEIRA Jr.; CONSTANTIN; INOUE, 2011). A ocorrência destes mecanismos se dá muitas vezes de maneira distinta entre espécies dicotiledôneas e monocotiledôneas e também é dependente do mecanismo de ação herbicida em questão. Com relação ao herbicida saflufenacil, de uma forma geral, observa-se que não há diferenças pronunciadas de absorção entre diferentes espécies, no entanto espécies dicotiledôneas apresentam taxas de translocação mais elevadas do que monocotiledôneas e a metabolização dos compostos ocorre de maneira mais pronunciada em monocotiledôneas do que em dicotiledôneas, tanto em tratamentos em pré quanto em pós-emergência (GROSSMAN, 2011). Portanto, com base nesses dois mecanismos, espera-se maior seletividade de saflufenacil a espécies monocotiledôneas, em comparação a dicotiledôneas.

Um estudo realizado por Soltani, Shropshire e Sikkema (2010) constataram que sete espécies leguminosas (feijão azuki (*Vigna angularis* L. "Eramo", feijão cranberry (*Phaseolus vulgaris* L. "Etna"), feijão lima (*Phaseolus lunatus* L. "Kingston"), ervilha (*Lathyrus odoratus* L. "Durango"), feijão snap (*P. vulgaris* L. "Matador"), soja (*Glycine max* L.) e feijão branco (*P. vulgaris* L. "OAC Rex")) sobre as quais foi aplicado saflufenacil (100 g ha⁻¹) em pré-emergência, apresentaram sensibilidade ao herbicida, demonstrada pelos efeitos de fitotoxicidade e perda de rendimento. No entanto, estudo analisando os efeitos do herbicida saflufenacil também em pré-emergência sobre dez cultivares de feijão, detectou diferentes níveis de tolerância ao herbicida (DIESEL et al., 2014). Nesse estudo, as cultivares testadas apresentaram níveis distintos de tolerância e BRS Talismã se destacou pela maior tolerância ao herbicida,.

O processo de desenvolvimento de resistência ou manifestação da tolerância de espécies vegetais a herbicidas inibidores da PROTOX ocorre principalmente devido a alta pressão de seleção imposta pelo uso contínuo de produtos comerciais com o mesmo mecanismo de ação. A capacidade de adaptação entre espécies daninhas e cultivadas é distinta, devido, principalmente as suas características morfológicas próprias, o que pode resultar em manifestação de resistência ou tolerância em curtos espaços de tempo. Isso ocorreu por exemplo em populações da espécie *Amaranthus tuberculatus* resistentes a inibidores da PROTOX, cuja reprodução ocorre via fecundação cruzada, o que consiste em um mecanismo de transferência genética muito eficiente entre gerações, permitindo que populações adaptadas com alterações genéticas sejam disseminadas (PATZOLDT et al., 2006). A alteração genética responsável pela resistência em biótipos de *A. tuberculatus* é resultante de uma mutação em um único gene que condiciona a enzima PROTOX mitocondrial (PPX2L), portanto tratando-se de uma alteração no local de ação herbicida (PATZOLDT et al., 2006).

De maneira geral, os processos de metabolização e detoxificação de compostos são identificados como sendo os principais mecanismos responsáveis pela tolerância de espécies cultivadas a herbicidas, ocorrendo em 4 fases: (I) Oxidação, redução, hidrólise, oxigenação, hidroxilação; (II) Conjugação com glutationas (muito comuns em leguminosas), aminoácidos, glucose e açúcares; (III) conjugação secundária, compartimentalização em vacúolos; (IV) Associação com componentes de parede celular (EERD et al., 2003; SHIMABUKURO, 1985; VIDAL, 2002).

Os mecanismos envolvidos nas fases de detoxificação envolvem gasto de energia nos tecidos das plantas, e podem ser responsáveis por atrasos no desenvolvimento da cultura e até em perdas de rendimento, mesmo não sendo observados sintomas visíveis de fitotoxicidade. Carvalho et al. (2008), apontam que este consumo energético se dá naturalmente na grande maioria das espécies vegetais, como uma resposta fisiológica contra compostos exógenos, incluindo compostos naturais, ou em resposta a estresses causados pelo ambiente ou ataque de pragas, sugerindo também que, caso este consumo energético seja mantido em um nível seguro, não compromete o rendimento das culturas. Neste

contexto, o estresse causado pela metabolização de compostos herbicidas poderá causar redução da produtividade de plantas cultivadas dependendo do seu nível de tolerância.

A seletividade do herbicida saflufenacil aplicado em pós-emergência tende a ser mais baixa em relação a sua aplicação no solo, provavelmente porque nesta modalidade de aplicação as plantas são expostas imediatamente e diretamente ao herbicida, enquanto na aplicação do herbicida no solo, apenas parte do herbicida se concentra na solução do solo, e outra parte é adsorvida aos colóides. No entanto, não pode ser descartada a possibilidade de haver metabolização diferencial dos herbicidas entre diferentes estruturas das plantas. Poderia-se supor, por exemplo, caso houvesse maior atividade de metabolização do herbicida pelo sistema radicular das plantas ou partes aéreas emergentes, que a aplicação do herbicida em pré-emergência poderia apresentar maior seletividade do que a aplicação em pós-emergência.

A aplicação em plantas jovens e a adição de adjuvantes potencializa a ação dos herbicidas inibidores da PROTOX (CARVALHO; OVEJERO, 2008; MEROTTO Jr.; VIDAL, 2001), verificando-se os sintomas de fitotoxicidade muito evidentes nas folhas tratadas, mesmo em plantas tolerantes (porém estas recuperam-se rapidamente). Lactofen e acifluorfen (inibidores da PROTOX) aplicados em pós-emergência em soja causam sintomas de queimadura nas folhas, porém, devido a absorção e translocação menos rápida, associado ao acelerado metabolismo da planta, ocorre a rápida rebrota sem injúrias nas folhas novas (OLIVEIRA Jr.; CONSTANTIN; INOUE, 2011; RITTER; COBLE, 1981).

Fontes e Oliveira (2013), observaram uma grande fitotoxicidade e redução de rendimento de feijão-caupi com aplicação de fomesafen na dose de 250 g i.a. ha⁻¹. Oliveira e Silva (2008) analisaram a tolerância de três cultivares de feijão-caupi (Manteiguinha, Fígado-de-boi-vinagrão e Fígado-de-galinha) ao fomesafen aplicado em pós-emergência na dose de 200 g i.a. ha⁻¹, e constataram que apenas a variedade Fígado-de-galinha não apresentou fitotoxicidade e perda de rendimento, enquanto que as demais foram grandemente afetadas.

O controle químico de plantas daninhas em pós-emergência no feijão é muito limitado devido à pequena quantidade de produtos registrados para esta

finalidade, o que impede a rotação de mecanismos de ação herbicida. Neste contexto, o estudo a respeito da ação de diferentes herbicidas com satisfatório nível de controle de plantas daninhas e níveis aceitáveis de segurança para o feijoeiro, é de grande importância para assegurar a viabilidade da produção de feijão (SOLTANI; BOWLEY; SIKKEMA, 2005). A descoberta de novas alternativas químicas de controle permitiria a rotação contínua de mecanismos de ação, garantindo assim, a preservação das tecnologias disponíveis no mercado.

Informações a respeito da tolerância de cultivares de feijão ao herbicida saflufenacil são ainda muito limitadas devido, principalmente, ao fato deste herbicida ser relativamente novo no mercado brasileiro. Caso sejam identificados níveis aceitáveis de tolerância, o herbicida saflufenacil poderá ser considerado uma importante ferramenta no controle de espécies problemáticas em lavouras de feijão, incluindo o manejo de espécies resistentes a outros mecanismos de ação herbicida, como EPSPS e ALS. Através da seleção de materiais com níveis aceitáveis de tolerância, estes poderão ser selecionados para futuros trabalhos envolvendo o melhoramento genético de cultivares, além de contribuir para uma melhor compreensão de possíveis mecanismos de tolerância aos herbicidas inibidores da enzima PROTOX.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para a avaliação dos níveis de tolerância das cultivares de feijão BRSMG Talismã, BRS Jalo Precoce, BRS Esplendor e Iapar 81 ao herbicida saflufenacil, foram realizados três experimentos de fevereiro a maio de 2016, sendo o primeiro um ensaio para obtenção de uma curva de dose-resposta em pré-emergência. O segundo foi um estudo preliminar de curva dose-resposta, utilizando-se apenas a cultivar BRSMG Talismã em pós-emergência, para definir as doses mais adequadas para utilização em experimentos posteriores. No terceiro e último experimentos, todas as cultivares de feijão foram submetidas as doses previamente selecionadas em tratamento em pós-emergência da cultura.

Os experimentos foram conduzidos no município de Pato Branco, Paraná, em propriedade rural localizada a 26°12'56.64"S e 52°37'25.63"W e na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. Foram utilizados vasos com capacidade de 5 litros preenchidos com solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférico proveniente de área de lavoura cultivada anteriormente com a cultura do feijão e mantidos em estufa coberta com plástico transparente. O solo foi mantido com umidade próxima a capacidade de campo através de irrigação. As informações provenientes da análise do solo constam na Tabela 1.

Tabela 1 – Características do solo utilizado no experimento de tolerância ao herbicida saflufenacil mediante laudo da análise de solo. UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2016.

	MO gdm ⁻³	P mgdm ⁻³	K cmol _c dm ⁻³	Cu mgdm ⁻³	Fe mgdm ⁻³	Zn mgdm ⁻³	Mn mgdm ⁻³	PH CaCl ₂
Resultados	44,23	19,88	0,70	*	*	*	*	5,50
Nível	médio	alto	alto	-	-	-	-	médio
	Índice SMP	Al ³⁺ cmol _c dm ⁻³	H+Al cmol _c dm ⁻³	Ca coml _c dm ⁻³	Mg coml _c dm ⁻³	SB coml _c dm ⁻³	V (%)	Sat. Al (%)
Resultados	6,20	0	4,28	6,10	2,60	9,40	68,71	0
Nível	médio	-	médio	alto	alto	alto	médio	-

*Cu, Fe, Zn e Mn não foram determinados.

O herbicida foi aspergido com pulverizador costal pressurizado com CO₂ com barra de pulverização de 1,5 m de largura com 3 bicos tipo leque 110.02, espaçados 0,5 m entre si. O pulverizador foi ajustado para trabalhar a uma pressão constante, fornecendo uma vazão de 200 L ha⁻¹.

4.1 CURVA DE DOSE-RESPOSTA EM PRÉ-EMERGÊNCIA

Para o experimento desenvolvido na modalidade de aplicação em pré-emergência, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjados em um fatorial 4 x 6, em que o primeiro fator foi constituído pelas cultivares de feijão comum (BRSMG Talismã, BRS Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81) e o segundo fator foi constituído por 6 doses do herbicida saflufenacil (0; 9,6; 14,1; 20,5; 30,0 e 43,8 g i.a. ha⁻¹), selecionadas com base no experimento preliminar efetuado por Diesel et al. (2014). Em todos os tratamentos, foi adicionado o adjuvante Dash HC a 0,5% (v/v) junto à calda de pulverização. A identificação e características de cada cultivar constam na Tabela 2.

O herbicida foi aspergido sobre o solo imediatamente após a semeadura da cultura no dia 17 de fevereiro de 2016. Foram semeadas 4 sementes em cada vaso, à uma profundidade de 5 cm, em solo mantido com umidade próxima à capacidade de campo por meio de irrigação diária.

Tabela 2 – Características das cultivares de feijão utilizadas no experimento de tolerância ao herbicida saflufenacil. UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2016.

Cultivar	Grupo	Ciclo	Porte da planta	Hábito de crescimento	Peso de 100 grãos (g)	Colheita mecanizada
BRSMG Talismã	Carioca	Normal	Prostrado	Indeterminado (tipo III)	26	Não-adaptado
BRS Jalo Precoce	Especial	Normal	Semi-ereto	Indeterminado (tipo II)	35	Não-adaptado
BRS Esplendor	Preto	Normal	Ereto	Indeterminado (tipo II)	22	Adaptado
IAPAR 81	Carioca	Normal	Ereto	Indeterminado (tipo II)	25	Adaptado

Fonte: Barbosa, Gonzaga (2012).

Foram realizadas avaliações do estado de plântulas e fitotoxicidade aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA). O estado de plântulas foi avaliado fazendo-se a contagem das plântulas que germinaram por completo. Os níveis de tolerância foram avaliados visualmente, utilizando escala de 0 – 100% de tolerância, adaptada de Frans et al. (1986), sendo 0 o valor para o máximo de fitotoxicidade (ausência de tolerância) e 100 para ausência de fitotoxicidade (máximo de tolerância).

A altura das plantas foi avaliada aos 14, 21, 28 e 35 DAA, utilizando-se uma régua graduada em centímetros. A massa verde da parte aérea das plantas de feijão foi coletada de cada vaso (repetições) e avaliada aos 35 DAA e posteriormente mantida em estufa de secagem a 60 °C até atingir massa constante, sendo então avaliada a massa seca da parte aérea das plantas. Para a avaliação da massa verde e massa seca foi utilizada balança de precisão.

4.2 CURVA DE DOSE-RESPOSTA PRELIMINAR EM PÓS-EMERGÊNCIA

Experimento preliminar foi efetuado utilizando-se apenas a cultivar BRSMG Talismã, sendo aplicadas as seguintes doses de saflufenacil: 0; 3,1; 4,5; 6,6; 9,6; 14,1; 20,5; 30,0 e 43,8 g i.a. ha⁻¹. As aplicações foram efetuadas em pós-emergência da cultura quando esta apresentava-se no estágio de desenvolvimento vegetativo V₄ (segundo trifólio inteiramente desenvolvido).

Foram semeadas 4 sementes da cultivar de feijão BRSMG Talismã em cada vaso preenchido com solo mantido com umidade próxima à capacidade de campo. Foi realizado o desbaste das plântulas logo após a emergência das plântulas, mantendo-se apenas duas plântulas por vaso.

Os níveis de tolerância foram avaliados aos 0; 4; 7; 14; 21; 28; 35 DAA do herbicida saflufenacil, utilizando-se a mesma escala de valores adotada no experimento anterior, adaptada de Frans et al. (1986), sendo 0 o valor para o máximo de fitotoxicidade (ausência de tolerância) e 100 para ausência de fitotoxicidade (máximo de tolerância). Aos 35 DAA, foram coletadas as plantas de feijão de cada vaso separadamente e avaliada a massa verde da parte aérea,

permanecendo em estufa de secagem a 60 °C até atingirem massa constante, sendo então mensurada a massa seca da parte aérea das plantas de feijão.

4.3 ENSAIO EM PÓS-EMERGÊNCIA

O ensaio em pós-emergência definitivo teve o mesmo delineamento experimental, número de repetições e arranjo dos tratamentos, bem como foram utilizadas as mesmas cultivares do experimento na modalidade de pré-emergência. Foram empregadas seis doses do herbicida saflufenacil, definidas com base no experimento preliminar efetuado em pós-emergência (0; 0,7; 1,0; 1,5; 2,1 e 3,1 g i.a ha⁻¹).

Foram semeadas 4 sementes em cada unidade experimental (vaso) a uma profundidade de 5 cm, e o solo foi mantido com umidade próxima à capacidade de campo. Após a germinação, foi realizado o desbaste das plântulas, mantendo-se duas plantas por vaso. O herbicida foi aspergido sobre as plantas no estágio de desenvolvimento vegetativo V₄.

Aos 4, 7, 14, 21, 28 e 35 DAA foram avaliadas as variáveis fitotoxicidade e altura das plantas. A injúria causada pelo herbicida foi avaliada visualmente utilizando-se escala adaptada de Frans et al. (1986), conforme descrito nos experimentos anteriores. A altura das plantas foi aferida com régua graduada em centímetros. Aos 35 DAA, foi coletada e avaliada a massa verde da parte aérea das plantas de feijão de cada vaso (repetição) e as amostras mantidas em estufa de secagem a 60 °C até atingirem massa constante, sendo então mensurada a massa seca da parte aérea das plantas de feijão.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados coletados foram submetidos a análise de variância pelo teste F. As médias de fatores qualitativos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Foi procedida a análise de regressão de médias de fatores quantitativos, através do programa WinStat (Citar e referenciar o programa ou o desenvolvedor do

programa). Foram ajustadas equações não lineares logísticas de 3 ou 4 parâmetros e sigmoidais de 4 parâmetros quando necessário, definidos os parâmetros das equações e os coeficientes de determinação, bem como foram construídas figuras por meio do programa SigmaPlot 10.0 (Citar e referenciar o programa ou o desenvolvedor do programa).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 RESPOSTA AO SAFLUFENACIL EM PRÉ-EMERGÊNCIA

No experimento com a aplicação do herbicida saflufenacil na modalidade de pré-emergência, a análise de variância identificou interação significativa entre os fatores cultivares e doses, a um nível de significância de 5%, para as variáveis-resposta tolerância e altura de plantas, mas não identificou interação significativa com relação ao estande e às massas verde e seca da parte aérea das plantas para nenhum dos períodos analisados. Com relação às variáveis massa seca e estande de plantas, houve diferença significativa apenas para o fator doses, enquanto que para a variável massa verde houve diferença significativa para os fatores cultivares e doses. Os parâmetros das equações ajustadas para as variáveis-resposta constam na Tabela 3.

Em todas as cultivares, o estande de plantas, avaliado aos 14 e 35 dias após a aplicação (DAA), sofreu redução com o incremento das doses do herbicida saflufenacil aplicado em pré-emergência. No entanto, não houve diferença significativa entre as cultivares. A cultivar BRSMG Talismã apresentou uma redução proporcional ao aumento da dose do herbicida, mas teve a menor redução de estande, com 38% de redução em relação à testemunha, na dose de 43,8 g i.a. ha⁻¹, aos 35 dias após a aplicação (DAA), quando comparada às demais cultivares. A cultivar Jalo Precoce teve a maior redução no estande final de plantas, de 63%, para o mesmo período e tratamento (Figuras 1 A e B).

Em estudo comparando a tolerância de 10 cultivares de feijão, incluindo BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81, ao herbicida saflufenacil aplicado em pré-emergência nas doses de 0, 14,7 e 29,3 g i.a. ha⁻¹, Diesel et al. (2014) observaram que as cultivares BRSMG Talismã e IAPAR 81 apresentaram os maiores estandes de plantas aos 28 DAA na maior dose testada, enquanto a cultivar Jalo Precoce foi a que apresentou a maior sensibilidade.

O herbicida saflufenacil é uma pirimidinadiona capaz de peroxidar lipídios e sua movimentação na planta se dá, principalmente, pelos vasos condutores do xilema. Após ser absorvido pelas raízes, transloca até a parte aérea

Tabela 3. Parâmetros das equações ajustadas para as variáveis tolerância aos 7, 14, 21, 28 e 35 DAA e altura aos 14, 21 e 28 DAA em resposta a aplicação de saflufenacil em diferentes doses (0; 9,6; 14,1; 20,5; 30; 43,8 g i.a. ha⁻¹) em pré-emergência das plantas de feijão. UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2016.

Variável	Cultivar	Período de avaliação (dias)	Parâmetros				
			a	b	x0 (I50)	R ²	P
Tolerância	BRSMG Talismã	7	100,20	2,79	115,09	0,97	0,002
Tolerância	Jalo Precoce	7	101,13	1,60	71,25	0,98	0,002
Tolerância	BRS Esplendor	7	101,06	1,27	119,21	0,95	0,008
Tolerância	IAPAR 81	7	100,79	1,11	205,02	0,92	0,022
Tolerância	BRSMG Talismã	14	100,49	2,15	105,52	0,99	0,000
Tolerância	Jalo Precoce	14	102,36	1,76	42,42	0,97	0,004
Tolerância	BRS Esplendor	14	102,59	2,13	38,76	0,96	0,007
Tolerância	IAPAR 81	14	98,91	2,90	44,90	0,98	0,002
Tolerância	BRSMG Talismã	21	100,05	6,28	53,67	0,99	0,000
Tolerância	Jalo Precoce	21	102,27	2,02	24,77	0,97	0,002
Tolerância	BRS Esplendor	21	101,70	3,02	29,68	0,98	0,001
Tolerância	IAPAR 81	21	102,73	1,96	37,57	0,98	0,002
Tolerância	BRSMG Talismã	28	100,00	50,15	40,04	0,99	0,000
Tolerância	Jalo Precoce	28	103,04	2,93	24,00	0,98	0,001
Tolerância	BRS Esplendor	28	102,76	2,54	32,14	0,96	0,006
Tolerância	IAPAR 81	28	104,53	2,25	31,38	0,93	0,015
Tolerância	BRSMG Talismã	35	100,00	-0,72	45,94	0,99	0,001*
Tolerância	Jalo Precoce	35	100,01	3,38	26,34	0,99	0,000
Tolerância	BRS Esplendor	35	101,67	3,16	32,84	0,98	0,002
Tolerância	IAPAR 81	35	101,87	2,08	48,97	0,96	0,005
Altura	BRSMG Talismã	14	98,0	2,12	118,62	0,19	0,724
Altura	Jalo Precoce	14	103,7	1,78	35,48	0,93	0,018
Altura	BRS Esplendor	14	106,1	2,19	64,4	0,81	0,079
Altura	IAPAR 81	14	106,1	1,25	234,6	0,14	0,784
Altura	BRSMG Talismã	21	99,75	2,65	101,0	0,53	0,320
Altura	Jalo Precoce	21	102,8	1,95	34,46	0,96	0,007
Altura	BRS Esplendor	21	103,9	2,38	59,06	0,83	0,069
Altura	IAPAR 81	21	103,2	1,08	203,6	0,40	0,455
Altura	BRSMG Talismã	28	104,2	5,83	61,77	0,40	0,458
Altura	Jalo Precoce	28	101,3	2,0	38,91	0,95	0,008
Altura	BRS Esplendor	28	101,3	2,78	56,48	0,92	0,019
Altura	IAPAR 81	28	102,5	0,92	165,6	0,55	0,294
Altura	BRSMG Talismã	35	110,8	45,87	45,8	0,47	0,385
Altura	Jalo Precoce	35	100,2	1,69	44,47	0,95	0,009
Altura	BRS Esplendor	35	105,8	2,6	64,65	0,78	0,101
Altura	IAPAR 81	35	101,6	0,76	662,4	0,29	0,591

Equação sigmoide logística de três parâmetros: $y = \frac{a}{1 + \exp(-b(x - c))}$ em que:

Y = variável dependente; x = concentração do herbicida; a = média da resposta da testemunha; b = declividade da curva; c = concentração que proporciona 50% do valor da variável dependente (I_{50}); d = média da resposta sob doses elevadas.

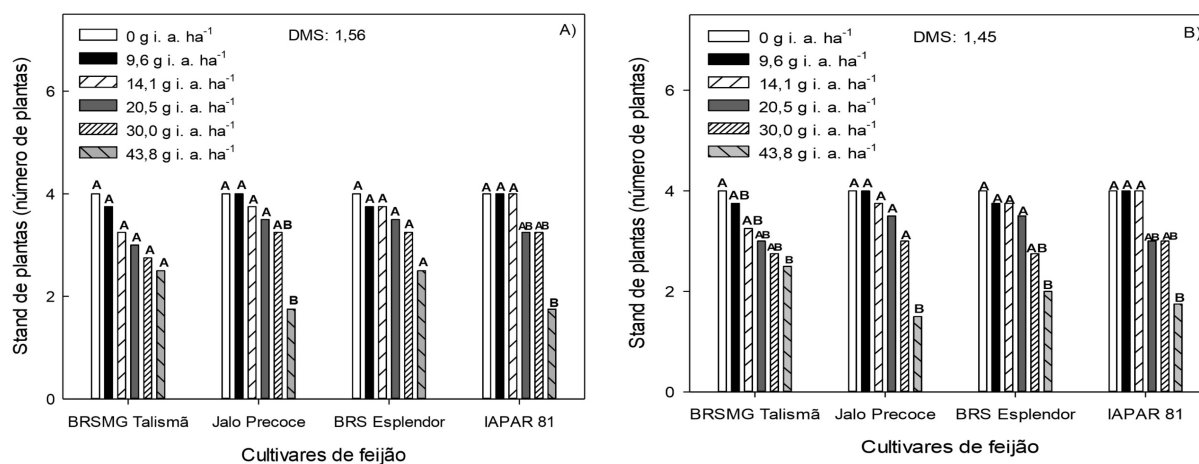


Figura 1 - Estande de plantas de quatro cultivares de feijão (BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81) em resposta a seis doses do herbicida saflufenacil, incluindo a testemunha sem aplicação, avaliado aos 14 (A) e 35 (B) DAA. UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2016.. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula indicam que não há diferença significativa entre doses dentro de cada cultivar, pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

em desenvolvimento, onde apresenta alguma translocação via floema, tornando a molécula mais eficiente quando comparada a outros produtos inibidores da PROTOX (GROSSMAN, 2011; SOLTANI; SHROPSHIRE; SIKKEMA, 2010). O efeito fitotóxico causado pela presença do herbicida no solo pôde ser observado logo após a primeira semana com o aparecimento de sintomas nos primeiros trifólios e a redução na altura das plantas mais sensíveis. A cultivar Jalo precoce apresentou redução significativa de altura nas plantas na dose de 20,5 g i.a. ha⁻¹, em relação à testemunha sem aplicação aos 14 DAA, com redução de 54%. No mesmo período, as demais cultivares tiveram uma redução menos acentuada de estatura, expressa em porcentagem em relação a testemunha sem aplicação do herbicida (Figura 2 A). Aos 21 DAA, as cultivares BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81 apresentaram redução de 9,4%, 58,9%, 28,4% e 7,4% na altura de plantas na dose de 43,8 g i.a. ha⁻¹, respectivamente, em relação a testemunha sem aplicação (Figura 2 B).

Aos 28 DAA, as cultivares BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81 apresentaram redução significativa de 7,9%, 56,65%, 30,9% e 14,38% na altura de plantas na dose de 43,8 g i.a. ha⁻¹, respectivamente, em relação a testemunha sem aplicação (Figura 2 C).

Aos 35 DAA, as cultivares BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81, apresentaram redução significativa de 1,7%, 51,5%, 20,4% e 5% na altura de plantas na dose de 43,8 g i.a. ha⁻¹, respectivamente, em relação a testemunha sem aplicação (Figura 2 D).

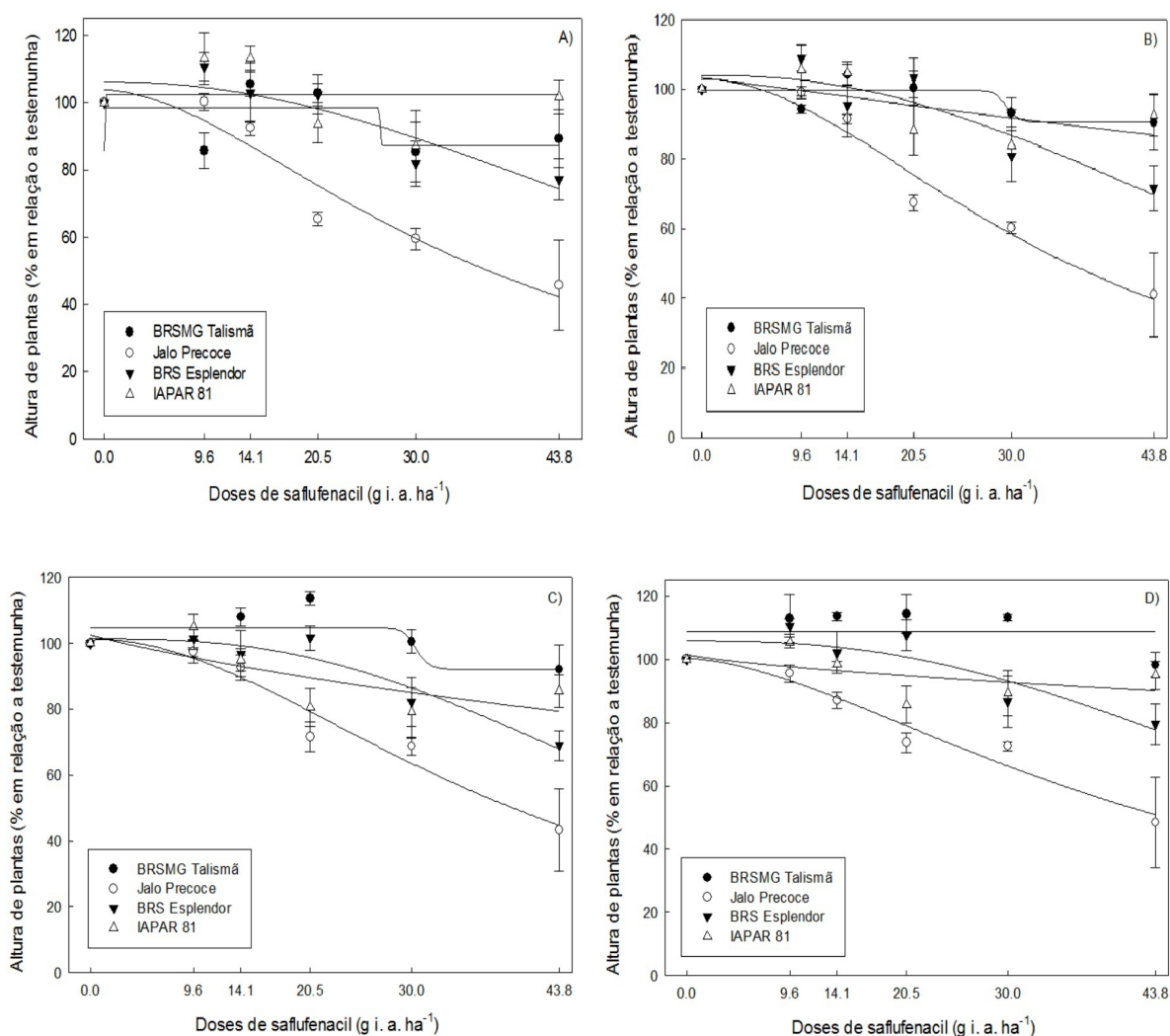


Figura 2: Altura de plantas de quatro cultivares de feijão (BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81) em resposta a doses de saflufenacil em pré-emergência, em avaliações efetuadas aos 14 (A), 21 (B), 28 (C) e 35 (D) DAA. UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2016..

A estatura das plantas é um componente importante para o rendimento da cultura, uma vez que plantas muito baixas podem, além de apresentar um potencial produtivo reduzido, também dificultar a colheita mecanizada e proporcionar perdas significativas e danos aos grãos (MATOS et al., 1991). A altura das plantas influencia também a habilidade competitiva entre o dossel da cultura e das plantas daninhas, que buscam espaço e luz solar para se estabelecer, gerando perdas no rendimento final (PITELLI, 1985; KOSLOWSKI et al., 2002).

O efeito das doses de saflufenacil na altura das plantas pode ser visualizado através do valor do I50 calculado através das equações de regressão quando ocorre interação significativa entre os fatores cultivares x doses (Tabela 3). Na tabela é possível observar que a variação entre os valores é grande comparando as cultivares e que há uma diminuição significativa do valor do I50 ao longo dos períodos de avaliação para todas as cultivares, com exceção da cultivar IAPAR 81 aos 35 DAA, que apresentou um grande aumento na altura média das plantas (Figura 2 A D) e, conseqüentemente, do I50 (Tabela 3), o que demonstra maior recuperação das plantas aos efeitos do herbicida ao longo do tempo, do que de outras cultivares.

Em relação a variável resposta tolerância, a cultivar BRSMG Talismã apresentou os maiores níveis de tolerância à presença do herbicida no solo, seguida por IAPAR 81, BRS Esplendor e Jalo Precoce, em todos os períodos analisados (Figura 3 A-E). A cultivar Jalo Precoce apresentou os menores níveis de tolerância em todos os períodos, revelando sensibilidade ao herbicida mesmo nas menores doses. A resposta de todas as cultivares, em todos os períodos de avaliação, se ajustou ao modelo exponencial decrescente.

Aos 7 DAA, a cultivar BRSMG Talismã apresentou elevado nível de tolerância, seguida por IAPAR 81 e BRS Esplendor, com 86,3% e 80%, respectivamente, enquanto que a cultivar Jalo Precoce apresentou tolerância de 70%, em comparação com testemunha sem aplicação, na dose de 43,8 g i.a. ha⁻¹ (Figura 3 A).

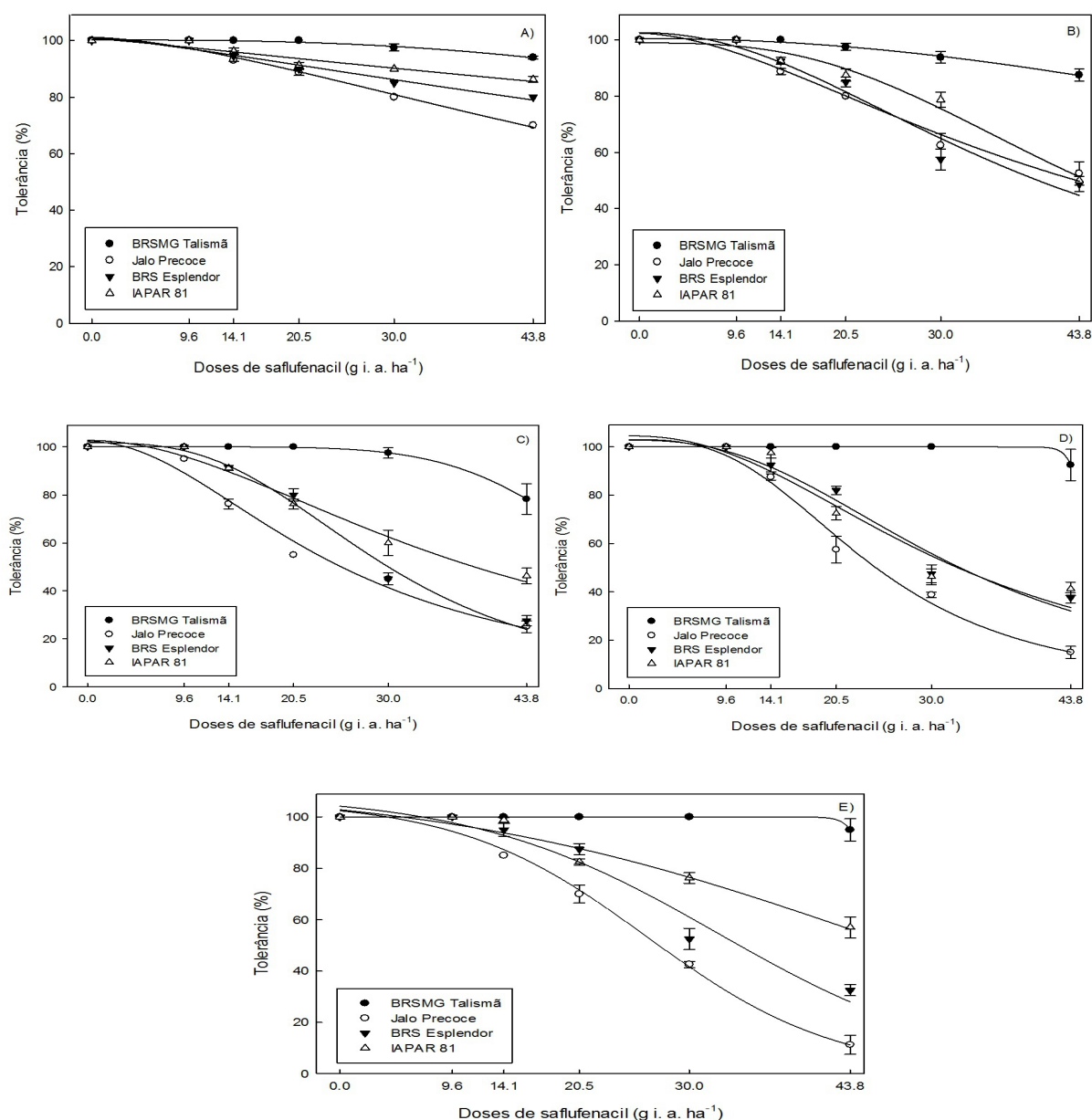


Figura 3: Tolerância de plantas de quatro cultivares de feijão (BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81) a doses de saflufenacil em pré-emergência, em avaliações efetuadas aos 7 (A), 14 (B), 21 (C), 28 (D) e 35 (E) DAA. UTFPR, Pato Branco, 2016.

Apenas até as avaliações efetuadas em 14 e 21 DAA, a cultivar BRSMG Talismã apresentou menor nível de tolerância do que a testemunha sem aplicação do herbicida. Aos 14 DAA, a redução foi de 6,25%, com a dose de 30 g i. a. ha⁻¹ e aos 21 DAA foi de 12,5%, com a utilização de 43,8 g i. a. ha⁻¹. Aos 28 e 35 DAA, BRSMG Talismã apresentou redução significativa muito baixa de tolerância para

todas as doses testadas, demonstrando sua maior tolerância em relação às demais cultivares e recuperação ao final dos períodos analisados.

Aos 14 DAA, o comportamento das cultivares Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81 foi muito semelhante, apresentando, na dose de 43,8 g i.a. ha⁻¹, reduções dos níveis de tolerância de 47,5%, 51,3% e 50%, respectivamente, em relação à testemunha (Figura 3 B). Aos 21 DAA, tornou-se mais evidente a tolerância das cultivares BRS Esplendor e IAPAR 81 comparativamente a Jalo Precoce, uma vez que, na dose de 20,5 g i.a. ha⁻¹, as primeiras apresentaram reduções de tolerância de 15% e 12,5%, em relação à testemunha, respectivamente, enquanto a cultivar Jalo Precoce apresentou redução de 20%. Contudo, na dose de 43,8 g i.a. ha⁻¹, as cultivares Jalo Precoce e BRS Esplendor apresentaram reduções dos níveis de tolerância muito próximas, da ordem de 75% e 72%, em relação à testemunha, respectivamente (Figura 3 C).

Aos 28 DAA, a sensibilidade das cultivares foi acentuada, mais evidentemente para a Jalo Precoce, que apresentou uma redução de 85% de tolerância em relação à testemunha na dose de 43,8 g i.a. ha⁻¹. Na mesma dose do herbicida, as cultivares BRS Esplendor e IAPAR 81 apresentaram redução de 62,5% e 58,7%, em relação à testemunha, respectivamente (Figura 3 D).

Ao final do período analisado (35 DAA), as cultivares Jalo Precoce e BRS Esplendor seguiram a tendência de redução da tolerância, com um decréscimo de 88,75% e 67,5%, respectivamente, em relação à testemunha, na dose mais elevada, enquanto foi possível notar uma pequena recuperação da cultivar IAPAR 81, com um aumento de 7,3% em relação ao período anterior (Figura 3 E).

A comparação entre as cultivares também pode ser visualizada através do I50, calculado a partir das equações de regressão entre os fatores cultivares x doses. Na Tabela 3, é possível observar a grande variação no comportamento das cultivares em diferentes períodos e a diminuição da tolerância das cultivares em função do avanço dos dias de avaliação. Aos 7 DAA, a amplitude dos valores do I50 estão entre 71 e 205. Já aos 35 DAA, esta amplitude é reduzida, variando entre 26 e 48, demonstrando o impacto negativo das doses do herbicida saflufenacil sobre as plantas de feijão. A partir dos 14 DAA, foi observado

redução mais significativa dos valores do I50 para todas as cultivares, onde a cultivar que apresentou maior nível de tolerância foi a BRSMG Talismã. Contudo, aos 35 DAA, houve uma recuperação da cultivar IAPAR 81, elevando seu valor de I50, superando a cultivar BRSMG Talismã.

Os parâmetros da equações logísticas descrevem o comportamento biológico das cultivares em relação a aplicação de diferentes doses de um herbicida, através do valor de I50, que corresponde a 50% de redução da variável no eixo y da figura. Contudo, pode ser observado que a curva que representa a cultivar BRSMG Talismã no presente estudo, aos 35 DAA (Figura 3 E), apresenta uma redução apenas na dose de 43,8 g i.a. ha⁻¹, tendo seu ajuste possível apenas por uma equação sigmoidal sigmóide de três parâmetros, a qual sugere um declínio acentuado a partir da dose de 43,8 g i.a. ha⁻¹, diminuindo o valor do I50 (Tabela 4). De encontro a isso, houve uma rebrota da cultivar IAPAR 81 aos 35 DAA, cuja equação ajustada sugere uma elevação da dose necessária para causar 50% de redução da variável expressa no eixo y da Figura 3 E.

A recuperação dos níveis de injúria de cultivares de feijão (Preto, Borlotti, Vermelho e Branco) 28 dias após aplicação de 140 g i.a. ha⁻¹ de flumioxazin em pré-emergência também foi relatado por Soltani et. al. (2005). Neste estudo, os autores constataram menores diferenças de injúria entre cultivares na aplicação em pré-plantio-incorporado do que em pré-emergência.

A seletividade do saflufenacil, quando aplicado no solo, ocorre através do posicionamento das moléculas biocidas em relação às estruturas de desenvolvimento inicial (BASF, 2013), e sua persistência pode variar de acordo com as características do solo, teor de matéria orgânica, condições de umidade e dose do herbicida aplicada (DIESEL, 2013; MONQUERO et al. 2012; GANNON et al., 2014; GROSSMAN, 2011).

A ocorrência de níveis distintos de susceptibilidade entre espécies leguminosas não é incomum, quando a aplicação de saflufenacil é realizada na modalidade de pré-emergência (DIESEL et al., 2014; SOLTANI et al. 2010). Em um estudo testando a sensibilidade de leguminosas, incluindo soja, ervilha e feijão, à aplicação de saflufenacil em pré-emergência nas doses de 0, 100 e 200 g i.a. ha⁻¹, Soltani et al. (2010) observaram maior sensibilidade nas plantas de feijão do que

em soja e ervilha, que apresentaram recuperação após 28 DAA. No mesmo estudo, as plantas de ervilha e soja não apresentaram redução significativa de altura na dose de 100 g i.a. ha⁻¹, e 15% de redução da altura na dose de 200 g i.a. ha⁻¹. Quando comparadas com espécies monocotiledôneas, como milho, observa-se em dicotiledôneas maior absorção e translocação e menor metabolização do herbicida saflufenacil (GROSSMAN, 2011). Isso sugere que esses mecanismos podem estar também envolvidos em casos de distintos níveis de tolerância entre espécies ou mesmo entre cultivares dentro de espécies dicotiledôneas.

Diferenças de tolerância ocorrem devido a existência de mecanismos específicos capazes de interferir na absorção, retenção, translocação, metabolização ou compartimentalização dos compostos herbicidas nos tecidos das plantas (OLIVEIRA Jr.; CONSTANTIN; INOUE, 2011). O desenvolvimento ou manifestação da tolerância pode ainda ocorrer devido a características morfológicas próprias de cada espécie ou cultivar a nível genético, através da alteração de sítios de ação do herbicida na planta, devido à pressão exercida pelo uso contínuo de um mesmo mecanismo de ação herbicida (PATZOLDT et al., 2006).

Em relação à massa verde e seca da parte aérea de plantas, todas as cultivares tiveram comportamentos semelhantes, havendo, em valores absolutos, pequena superioridade da cultivar IAPAR 81 em relação às demais, devido ao porte maior das plantas. Contudo, a cultivar BRS Esplendor foi a que apresentou a menor porcentagem de redução de matéria verde em relação à testemunha sem aplicação (Figura 4 A), embora esse efeito não foi constatado em relação à matéria seca, em que os cultivares mais tolerantes foram BRSMG Talismã e BRS Esplendor (Figura 4 B). A diferença significativa entre doses, considerando a média das cultivares, ocorreu apenas para a variável massa seca (Figura 5).

Ao final do período analisado (35 DAA) foi observada uma intensa rebrota da parte aérea de todas as cultivares, colaborando para uma menor diferenciação dos resultados obtidos de massa verde e seca da parte aérea entre cultivares.

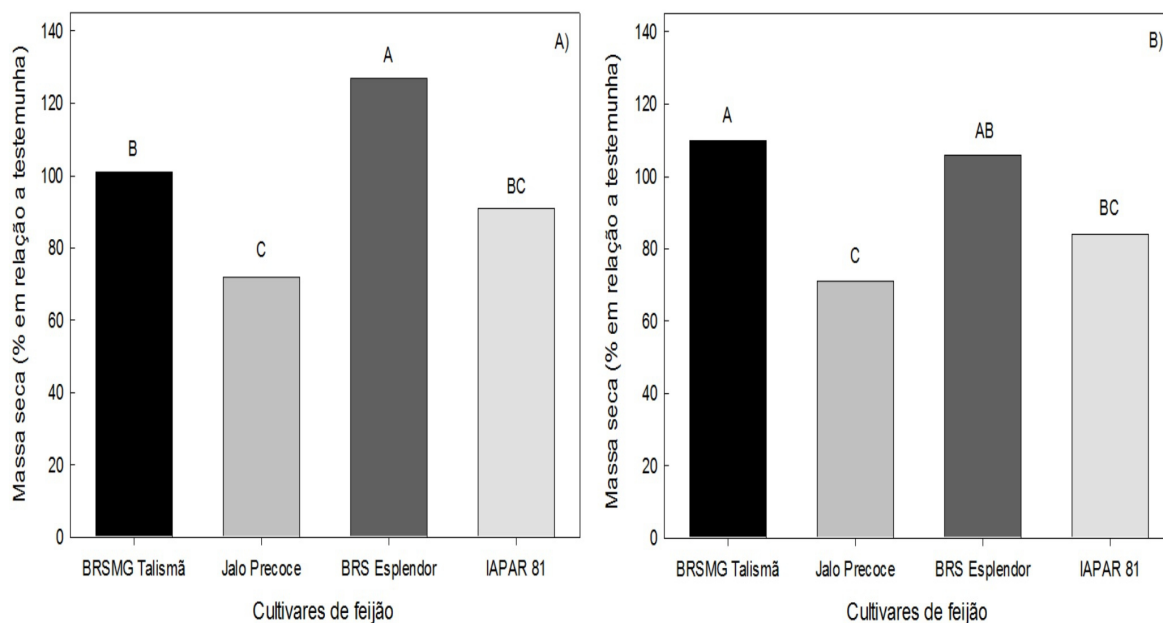


Figura 4: Massa verde (A) e seca (B) da parte aérea de plantas de quatro cultivares de feijão (BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81), na média da aplicação de seis doses do herbicida saflufenacil (0; 9,6; 14,1; 20,5; 30,0 e 43,8 g i.a. ha⁻¹). UTFPR, Pato Branco, 2016. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula indicam que não há diferença significativa entre cultivares, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

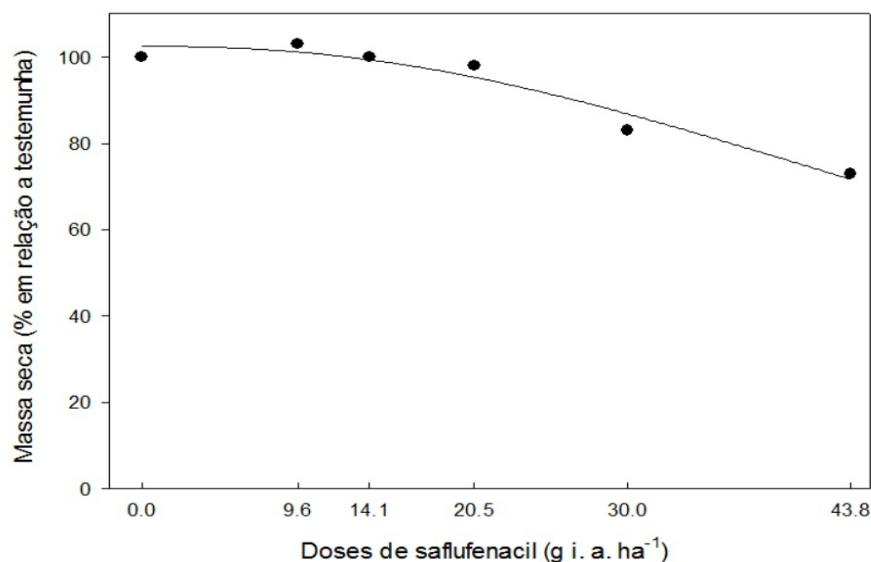


Figura 5: Porcentagem de redução da massa seca da parte aérea de quatro cultivares de feijão aos 35 DAA, submetidas à aplicação de seis doses de saflufenacil (0; 9,6; 14,1; 20,5; 30,0 e 43,8 g i.a. ha⁻¹) em pré-emergência. UTFPR, Pato Branco, 2016.

5.2 RESPOSTA PRELIMINAR AO SAFLUFENACIL EM PÓS-EMERGÊNCIA

A dose de 3,1 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil resultou em redução da tolerância de 38,3%, 70% e 73,3% da cultivar BRSMG Talismã, nas avaliações efetuadas aos 4, 14 e 21 DAA, respectivamente (Figura 6). Essa cultivar demonstrou níveis de tolerância elevados quando o herbicida saflufenacil foi aplicado no solo. Porém, quando aplicado na parte aérea das plantas, o efeito dessecante manifestou-se rapidamente, levando ao controle total das plantas nas doses de 30,0 e 43,8 g i.a. ha⁻¹, aos 4 DAA.

Doses superiores a 3,1 g i.a. ha⁻¹ resultaram em níveis de tolerância menores do que 10%, nas avaliações efetuadas aos 14 e 21 DAA, considerados muito baixos, significando a mortalidade completa das plantas ou próximo a isso (FRANS, 1986.) (Figura 6). Assim, as curvas de resposta da cultivar BRSMG Talismã ao saflufenacil efetivamente cumpriram o importante papel para sinalizar as doses a serem utilizadas no experimento definitivo.

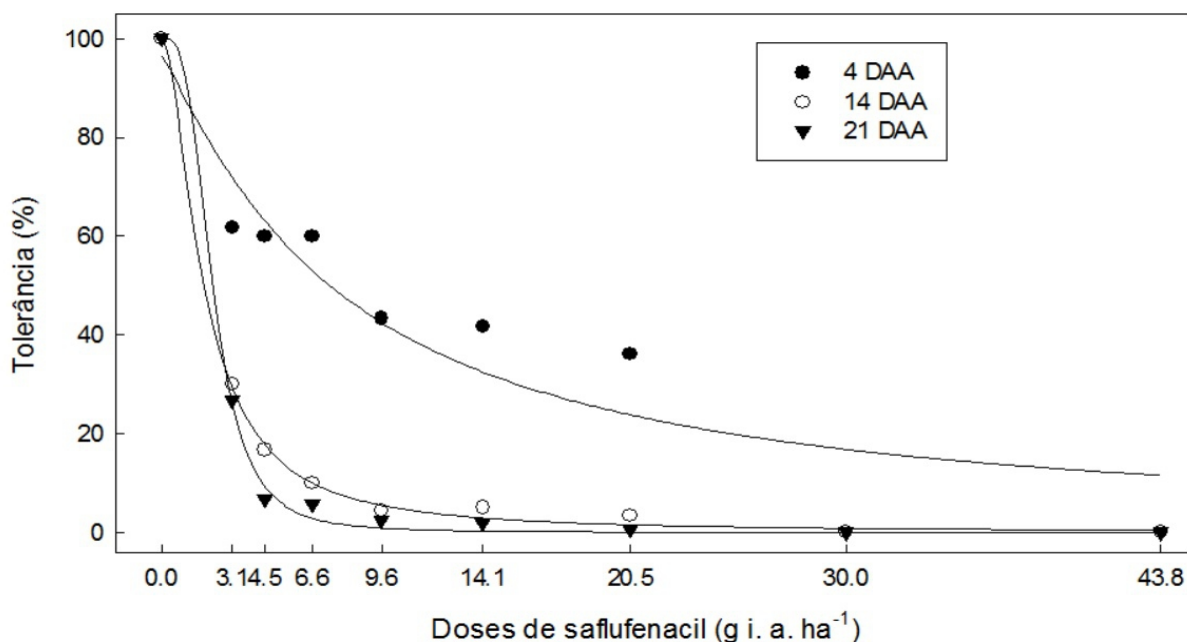


Figura 6: Tolerância da cultivar de feijão BRSMG Talismã a doses do herbicida saflufenacil (0; 3,1; 4,5; 6,6; 9,6; 14,1; 20,5; 30,0; 43,8 g i.a. ha⁻¹) aplicadas em pós-emergência das plantas, em avaliações efetuadas aos 4, 14 e 21 DAA. UTFPR, Pato Branco, 2016.

5.3 RESPOSTA DE CULTIVARES AO SAFLUFENACIL EM PÓS-EMERGÊNCIA

No ensaio da modalidade de pós-emergência, as cultivares de feijão BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81 apresentaram comportamento semelhante em relação às doses testadas.

Em todos os períodos testados, com exceção aos 7 DAA, houve interação significativa entre os fatores cultivares x doses para as variáveis tolerância, massa verde e massa seca da parte aérea das plantas. Os parâmetros das equações ajustadas para as variáveis-resposta constam na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros das equações ajustadas para a variável tolerância aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 DAA em resposta a aplicação de saflufenacil em diferentes doses em pós-emergência da cultura do feijão.

Variável	Cultivar	Período de avaliação (dias)	Parâmetros				
			a	b	x0 (I50)	R ²	P
Tolerância	BRSMG Talismã	7	99,9	0,81	1,08	0,98	0,001
Tolerância	Jalo Precoce	7	99,8	0,70	1,04	0,99	0,000
Tolerância	BRS Esplendor	7	99,8	0,75	0,96	0,98	0,002
Tolerância	IAPAR 81	7	99,8	0,74	1,20	0,98	0,001
Tolerância	BRSMG Talismã	14	99,4	1,12	0,87	0,95	0,009
Tolerância	Jalo Precoce	14	99,7	0,85	0,82	0,96	0,006
Tolerância	BRS Esplendor	14	99,5	1,1	0,89	0,96	0,006
Tolerância	IAPAR 81	14	99,88	0,84	0,92	0,98	0,002
Tolerância	BRSMG Talismã	21	99,26	1,25	0,78	0,92	0,022
Tolerância	Jalo Precoce	21	99,66	0,89	0,71	0,95	0,010
Tolerância	BRS Esplendor	21	99,13	1,5	0,82	0,95	0,009
Tolerância	IAPAR 81	21	99,45	1,21	0,84	0,95	0,008
Tolerância	BRSMG Talismã	28	99,38	1,1	0,73	0,89	0,032
Tolerância	Jalo Precoce	28	99,74	0,79	0,6	0,95	0,011
Tolerância	BRS Esplendor	28	98,67	1,93	0,92	0,96	0,006
Tolerância	IAPAR 81	28	99,59	1,13	0,8	0,95	0,008
Tolerância	BRSMG Talismã	35	99,56	1,03	0,69	0,88	0,037
Tolerância	Jalo Precoce	35	99,78	0,76	0,52	0,94	0,011
Tolerância	BRS Esplendor	35	98,67	1,97	0,93	0,96	0,006
Tolerância	IAPAR 81	35	99,61	0,94	0,71	0,96	0,016

Tolerância	BRSMG Talismã	42	99,59	1,02	0,68	0,88	0,037
Tolerância	Jalo Precoce	42	99,77	0,78	0,52	0,95	0,010
Tolerância	BRS Esplendor	42	98,67	1,97	0,93	0,96	0,006
Tolerância	IAPAR 81	42	99,61	0,94	0,71	0,93	0,016
Massa verde caules e folhas	BRSMG Talismã	42	94,57	12,09	2,61	0,99	0,001
Massa verde caules e folhas	Jalo Precoce	42	102,04	1,89	4,34	0,78	0,049
Massa verde caules e folhas	BRS Esplendor	42	104,83	6,53	1,93	0,98	0,000
Massa verde caules e folhas	IAPAR 81	42	94,33	3,40	2,07	0,96	0,001
Massa seca caules e folhas	BRSMG Talismã	42	96,32	11,83	2,60	0,99	0,001
Massa seca caules e folhas	Jalo Precoce	42	102,17	2,28	4,37	0,72	0,066
Massa seca caules e folhas	BRS Esplendor	42	100,83	3,83	1,99	0,99	0,000
Massa seca caules e folhas	IAPAR 81	42	98,15	5,60	2,69	0,97	0,000
Massa verde total	BRSMG Talismã	42	91,83	13,75	2,54	0,97	0,004
Massa verde total	Jalo Precoce	42	96,09	2,02	2,97	0,94	0,014
Massa verde total	BRS Esplendor	42	110,46	18,77	2,01	0,98	0,002
Massa verde total	IAPAR 81	42	95,38	2,02	1,52	0,90	0,027
Massa seca total	BRSMG Talismã	42	93,70	13,44	2,53	0,95	0,009
Massa seca total	Jalo Precoce	42	95,97	1,78	2,99	0,92	0,006
Massa seca total	BRS Esplendor	42	104,19	7,36	1,97	0,98	0,001
Massa seca total	IAPAR 81	42	84,87	5,45	2,34	0,90	0,028
Massa verde de vagens	BRSMG Talismã	42	88,75	26,15	2,33	0,92	0,020
Massa verde de vagens	Jalo Precoce	42	96,87	1,38	2,23	0,89	0,032

Massa verde de vagens	BRS Esplendor	42	124,8	55,64	2,07	0,94	0,013
Massa verde de vagens	IAPAR 81	42	98,28	1,53	0,96	0,88	0,039
Massa seca de vagens	Jalo Precoce	42	90,76	24,06	2,33	0,89	0,036
Massa seca de vagens	BRS Esplendor	42	97,83	1,18	2,17	0,89	0,033
Massa seca de vagens	IAPAR 81	42	114,57	54,65	2,08	0,97	0,004
Massa seca de vagens	BRSMG Talismã	42	95,92	1,64	1,32	0,81	0,081

Equação sigmoideal logística de três parâmetros: $y = \frac{a}{1 + \exp(-bx)}$, $y = \frac{a}{1 + \exp(-b(x-c))}$; em que: Y = variável dependente; x = concentração do herbicida; a = média da resposta da testemunha; b = declividade da curva; c = concentração que proporciona 50% do valor da variável dependente (I_{50}); d = média da resposta sob doses elevadas.

Aos 14 DAA, foi observada diferença significativa entre a cultivar IAPAR 81 e as demais cultivares, com nível de tolerância de 26,25% na dose de 3,1 g i.a. ha⁻¹. Aos 14 DAA, pôde ser observada tolerância de apenas 10% da cultivar BRSMG Talismã na dose de 3,1 g i.a. ha⁻¹.

Nos períodos de 21, 28, 35 e 42 DAA, não houve diferença significativa entre cultivares, apenas diferenças entre doses, sendo observado um efeito muito semelhante para todas as cultivares em relação a todas as doses testadas. O efeito rápido causado pelas doses do saflufenacil era esperado, pois este é um herbicida com ação predominantemente de contato, que atua através da peroxidação lipídica quando há exposição da planta aos raios solares (GROSSMAN, 2011), sendo recomendado para dessecação do feijão em pré-colheita (BASF, 2013). Porém, desconhecia-se a existência ou não de diferenças de tolerância entre cultivares em grande amplitude de doses de saflufenacil.

A utilização do herbicida fomesafen (Flex) em pós-emergência na cultura do feijão, nas doses de 0,25, 0,5, 0,75 e 1 L ha⁻¹, causou baixos níveis de fitotoxicidade nas plantas aos 14 DAA, de 0%, 3,75%, 2,5% e 11,25%, respectivamente, porém houve recuperação aos 28 DAA sem afetar o rendimento final da cultura (SILVA, 2012).

A seletividade do saflufenacil em pós-emergência tende a ser mais baixa para diversas espécies leguminosas devido a sua ação rápida logo após a absorção pelos tecidos e exposição ao sol, ocasionando sintomas de fitotoxicidade mesmo em culturas tolerantes. A aplicação em plantas jovens aliada a adição de adjuvantes pode ainda potencializar a ação dos herbicidas inibidores da PROTOX (CARVALHO; OVEJERO, 2008; MEROTTO Jr.; VIDAL, 2001), verificando-se os sintomas de fitotoxicidade muito evidentes nas folhas tratadas, mesmo em plantas tolerantes, contudo, culturas tolerantes apresentam rápida recuperação (SILVA, 2012).

Na modalidade de pós-emergência na cultura da soja, lactofen e acifluorfen (inibidores da PROTOX) são capazes de causar sintomas de queimadura nas folhas, porém, devido a absorção e translocação mais lenta dos compostos, associado ao acelerado metabolismo da planta, ocorre a rápida rebrota sem injúrias nas folhas novas (OLIVEIRA Jr.; CONSTANTIN; INOUE, 2011; RITTER; COBLE, 1981).

Fontes e Oliveira (2013), observaram elevada fitotoxicidade e redução de rendimento de feijão-caupi com aplicação de fomesafen na dose de 250 g i.a. ha⁻¹ em pós-emergência da cultura. Oliveira e Silva (2008) analisaram a tolerância de três cultivares de feijão-caupi (Manteiguinha, Fígado-de-boi-vinagrão e Fígado-de-galinha) ao fomesafen aplicado em pós-emergência na dose de 200 g i.a. ha⁻¹, e constataram que apenas a variedade Fígado-de-galinha não apresentou fitotoxicidade e perda de rendimento, enquanto que os demais foram grandemente afetados.

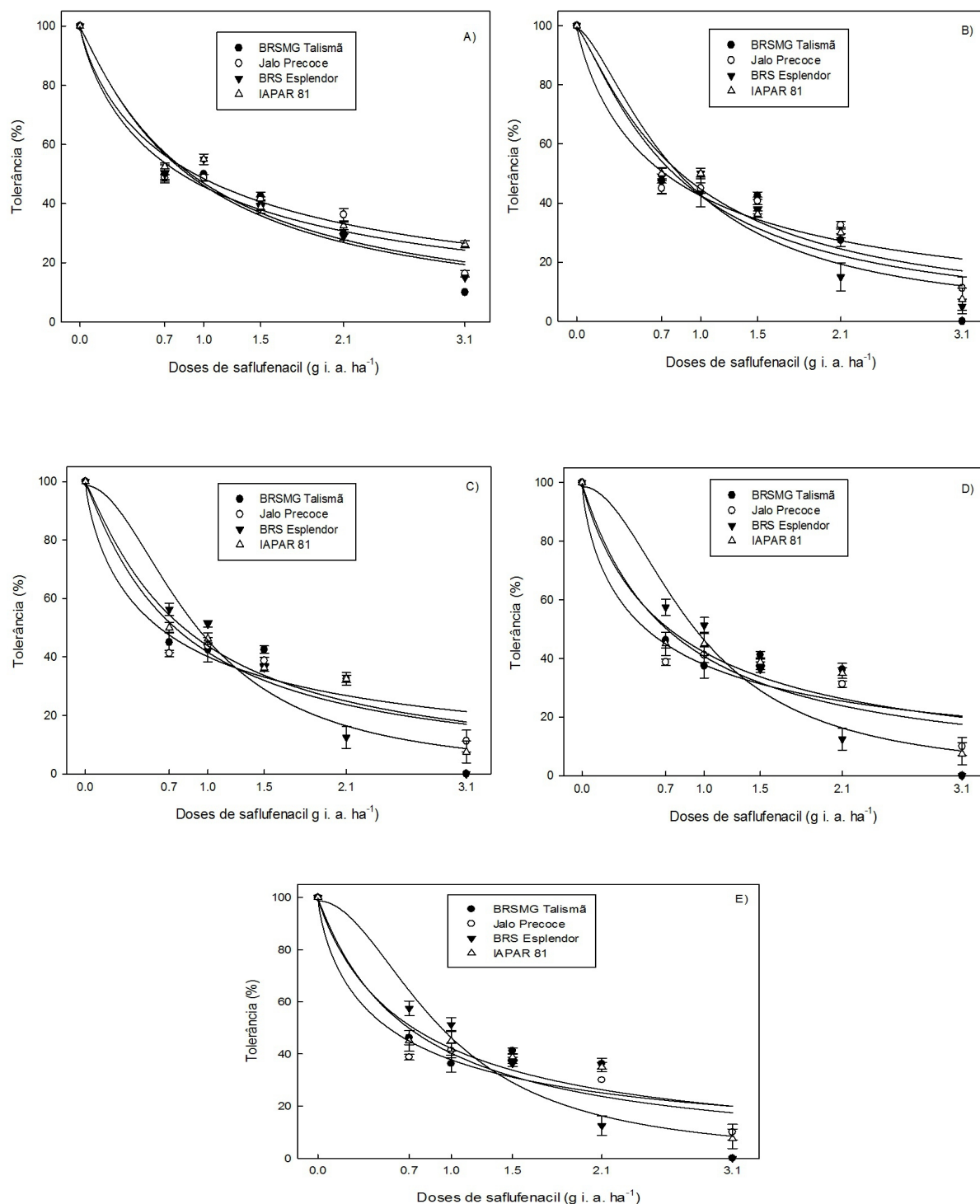


Figura 7: Tolerância de quatro cultivares de feijão (BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81) aos 14 (A), 21 (B), 28 (C), 35 (D) e 42 (E) DAA de seis doses do herbicida saflufenacil (0; 0,7; 1,0; 1,5; 2,1 e 3,1 g i.a. ha⁻¹). UTFPR, Pato Branco, 2016.

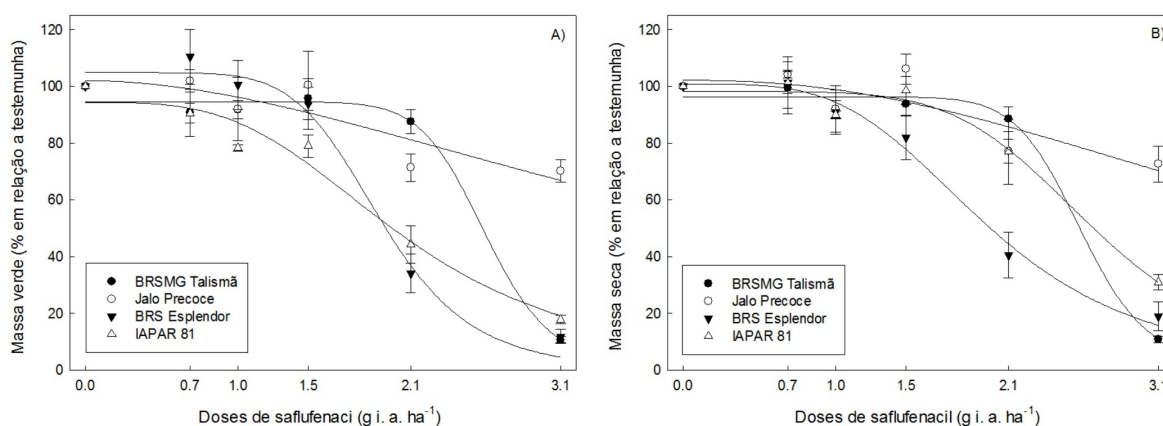
No presente experimento, a aplicação de saflufenacil em pós-emergência causou efeitos fitotóxicos similares em todas as cultivares de feijão testadas, em todos os períodos analisados. Observaram-se sintomas de peroxidação lipídica através de cloroses que evoluíram para necroses em grande parte dos tecidos, incluindo caules. A partir da dose de 1,0 g i.a. ha⁻¹, as plantas começaram a apresentar redução de desenvolvimento da parte aérea em relação a testemunha sem aplicação, chegando até o dano irreversível em todas as cultivares, entre elas a BRSMG Talismã que apresentou controle total na dose de 3,1 g i.a. ha⁻¹ a partir dos 28 DAA. As curvas dos gráficos indicam um comportamento biológico muito semelhante entre todas as cultivares, porém, as cultivares Jalo Precoce e IAPAR 81 apresentaram nível de tolerância de 10%, em relação à testemunha, na dose de 3,1 g i.a. ha⁻¹, aos 42 DAA, enquanto BRSMG Talismã e BRS Esplendor foram controladas pela aplicação (Figura 7 E).

Os valores de I50 (Tabela 4), em relação a tolerância, não apresentaram uma amplitude muito grande entre cultivares sendo todas ajustadas ao modelo exponencial decrescente, porém permitem diferenciar o comportamento biológico apresentado pelas cultivares em relação as doses de saflufenacil aplicadas ao longo dos períodos de avaliação. A cultivar BRSMG Talismã, Jalo Precoce e IAPAR 81 apresentaram redução ao longo dos períodos de avaliação, enquanto que a cultivar BRS Esplendor apresentou um pequeno aumento do valor do I50 a partir dos 21 DAA.

Os dados de massa verde e massa seca de caules e folhas no ensaio em pós-emergência corroboram com as análises visuais de tolerância, demonstrando a redução da massa de plantas conforme o incremento das doses para todas as cultivares (Figura 8 A, B, C e D). De modo geral, todas as cultivares apresentaram redução dessa variável a partir da dose de 1,5 g i.a. ha⁻¹ e as diferenças entre cultivares se acentuaram nas doses de 2,1 e 3,1 g i.a. ha⁻¹. As cultivares BRSMG Talismã, BRS Esplendor e IAPAR 81 foram completamente controladas na dose de 3,1 g i.a. ha⁻¹. A cultivar Jalo Precoce, ao contrário da modalidade de aplicação em pré-emergência, foi a única que não apresentou controle completo pelo herbicida mesmo na maior dose testada.

O efeito dessecante do saflefenacil foi observado na parte aérea de todas as cultivares a medida em que as doses eram incrementadas. Na Tabela 4, ao se observar os valores do I50 para massa verde e seca da parte aérea das cultivares aos 42 DAA, pode se observar que houve uma variação menor do valor médio da massa seca de algumas cultivares em relação a massa verde, devido a grande parte do tecido vegetal já estar morto pelo efeito fitotóxico do herbicida. A cultivar Jalo precoce apresentou os maiores valores do I50 devido ao fato de não ter sido completamente controlada mesmo na dose de 3,1 g i.a. ha⁻¹. Ao se observar separadamente a produção de vagens, pode se observar que a amplitude dos valores do I50 foi menor, demonstrando que não houve um comportamento muito diferente entre as cultivares considerando-se a redução da produção de massa de vagens em relação à testemunha sem aplicação do herbicida, aos 42 DAA.

Aos 42 DAA, nas doses de 0, 0,7, 1,0, 1,5 e 2,1 g i.a. ha⁻¹, todas as cultivares apresentaram produção de vagens (Figura 8 E e F), o que resultou em incremento da massa verde e seca das plantas. A cultivar BRS Esplendor destacou-se pela produção de caules e folhas e também de partes reprodutivas (vagens) nas aplicações de doses de saflufenacil até 1,5 g i.a. ha⁻¹. Porém, essas variáveis foram reduzidas de forma mais intensa para esta cultivar, em relação às demais, o que resultou no pior desempenho nas doses de 2,1 e 3,1 g i.a. ha⁻¹ (Figura 8 E e F), refletindo-se também na matéria seca total (Figura 8 D).



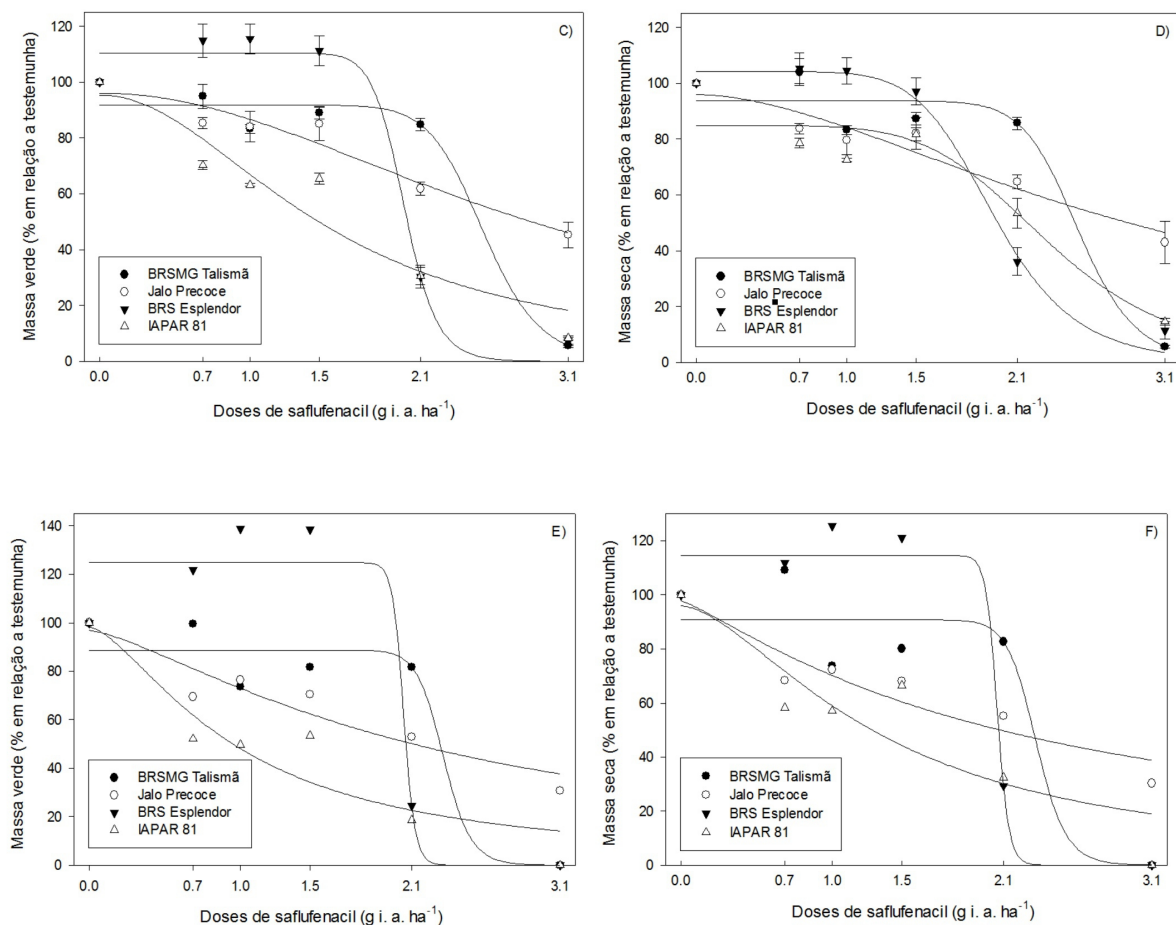


Figura 8: Diferença entre seis doses do herbicida saflufenacil (0; 0,7; 1,0; 1,5; 2,1 e 3,1 g i.a. ha⁻¹), aplicado em pós-emergência em quatro cultivares de feijão (BRSMG Talismã, Jalo Precoce, BRS Esplendor e IAPAR 81), em relação a massa verde (A) e massa seca (B) de caules e folhas, massa verde (C) e massa seca (D) de caules, folhas e vagens e massa verde (E) e seca (F) de vagens isoladamente, aos 42 DAA. UTFPR, Pato Branco, 2016.

Na dose de 2,1 g i.a. ha⁻¹, as cultivares BRS Esplendor e IAPAR 81 apresentaram redução de 66% e 55,8% da produção de massa seca total e apresentaram controle total das plantas na dose de 3,1 g i.a. ha⁻¹. As cultivares BRSMG Talismã e Jalo Precoce apresentaram menor redução de massa seca total na dose de 2,1 g i.a. ha⁻¹, no entanto, esta redução foi suficiente para comprometer o desenvolvimento de estruturas reprodutivas das plantas de feijão. Na dose de 3,1 g i.a. ha⁻¹, a cultivar BRSMG Talismã foi totalmente controlada pelo herbicida saflufenacil, enquanto a cultivar Jalo Precoce apresentou redução de 57% da produção de massa seca em relação à testemunha sem aplicação.

Tanto no ensaio preliminar, quanto no ensaio utilizando doses reduzidas na modalidade de pós-emergência, efetuado com a cultivar BRSMG Talismã, o efeito fitotóxico do herbicida saflufenacil foi muito mais pronunciado que na modalidade em pré-emergência. Isso demonstra que a modalidade de aplicação do herbicida influencia os níveis de tolerância da cultivar, o que sugere a ocorrência de diferentes mecanismos responsáveis pela tolerância de diferentes cultivares entre as aplicações de saflufenacil em pré e pós-emergência.

Observando a Tabela 4, é possível perceber que a amplitude dos valores de I50 aumentam para a cultivar Jalo Precoce, considerando a massa seca da parte aérea sem as vagens, pois para as demais cultivares, na dose de 3,1 g i.a. ha⁻¹, ocorreu o controle total das plantas e portanto não houve produção de vagens.

6 CONCLUSÕES

Na modalidade de aplicação em pré-emergência do herbicida saflufenacil, a cultivar Jalo Precoce apresentou o menor nível de tolerância dentre as demais cultivares, e a cultivar BRSMG Talismã apresentou o maior nível de tolerância, demonstrando ser um material com potencial para maiores investigações.

Na modalidade de aplicação em pós-emergência do herbicida saflufenacil, houve grande efeito fitotóxico em todas as cultivares, e nenhuma delas apresentou níveis satisfatórios de tolerância mesmo em doses muito baixas do herbicida.

Os resultados supõem mecanismos distintos de tolerância entre as cultivares nas modalidades de pré e pós-emergência do herbicida.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos mais aprofundados em relação à resposta de diferentes cultivares de feijão aos herbicidas inibidores da PROTOX e mecanismos responsáveis pela tolerância ao herbicida saflufenacil são necessários, contribuindo para melhorias no sistema de produção de feijão e para a diversificação de produtos herbicidas registrados para esta finalidade.

A cultivar BRSMG Talismã demonstrou maiores níveis de tolerância quando da aplicação do herbicida saflufenacil em pré-emergência, sendo um potencial candidato para inserção em programas de melhoramento de cultivares.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, F. R., GONZAGA A. C. O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012 – 2014**. Informativo técnico. Embrapa Arroz e feijão. Santo Antônio de Goiás – GO. 248 p., 1ª edição, 2012.

BASF – THE CHEMICAL COMPANY. **BULA – HEAT®**. Registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA sob nº 01013. 2013.

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

COBUCCI, T.; STEFANO, J. G. di.; CLUTHKOUSKI, J. **Manejo de plantas daninhas na cultura do feijoeiro em plantio direto**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica 35, 1999.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira 2015/2016 – grãos**. V. 3 - SAFRA 2015/16- N. 6 – Sexto levantamento. MARÇO/2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_03_10_16_50_05_boletim_graos_marco_2016.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2016.

DIESEL, F. **Persistência no solo, seletividade para espécies cultivadas e interação de saflufenacil com herbicidas causadores de estresse oxidativo**. 2013. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, PR, 2013.

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

EERD, L. L. V; HOAGLAND, R. E.; ZABLOTOWICZ, R. M.; HALL, J. C. Pesticide metabolism in plants and microorganisms. **Weed Science**, v. 51, p. 472-495, 2003.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo do Feijão na região Noroeste de Minas Gerais**. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoIrrigadoNoroesteMG/manejo_pdaninhas.htm#tab4>. Acesso em: 09 mar. 2016.

FERRI, M. V. W.; VIDAL, R. A. Persistência do acetochlor em solo sob semeadura direta e convencional. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 99-106, 2006.

FONTES, J. R. A.; OLIVEIRA, I. Jr. de. **Efeitos da aplicação de herbicidas em pós-emergência na cultura do feijão-caupi**. III CONAC – Congresso Nacional de Feijão-Caupi. Recife – PE, 2013.

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

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

GROSSMAN, K.; NIGGEWEG, R.; CHRISTIANCEN, N.; LOOSER, R.; EHRHARDT, T. The Herbicide Saflufenacil (Kixor™) is a New Inhibitor of Protoporphyrinogen IX Oxidase Activity. **Weed Science**, v. 58, n. 1, p. 1-9, 2010.

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

GUIMARÃES, G. L. Impáctos ecológicos do uso de herbicidas ao meio ambiente. **Série técnica IPEF**, v. 4, n. 12, p. 159-180, 1987.

KOZLOWSKI, L. A.; RONZELLI JÚNIOR, P.; PURISSIMO, C.; DAROS, E.; KOEHLER, H.S. Critical Period of Weed Interference in the Common Bean Crop Under Direct Seeding System. **Planta Daninha**, v. 20, n. 2, p. 213-220, 2002.

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

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

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Guia alimentar para a população brasileira**. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. – 2. ed. – Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

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

OLIVEIRA Jr., R. S. de.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Omnipax, Curitiba, PR, 2011. 348 p.

OLIVEIRA, O. M. S.; SILVA, J. F. **Tolerância de variedades conservadas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) ao fomesafen**. In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, 26, 2008, Ouro Preto. Anais..., Sete Lagoas: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 1 CD-ROM.

PATZOLDT, W. L.; HAGER, A. G.; MCCORMICK, J. S.; TRANEL, P. J. A condon deletion confers resistance to herbicides inhibiting protoporphyrinogen oxidase. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 33, p. 12329-12334, 2006.

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.

SHIMABUKURO, R. H. Detoxification of herbicides. In: DUKE, S. O. (Ed.) **Weed physiology**. Boca Raton: CRC Press, v.2, p. 215-240, 1985.

SIKKEMA P. H.; SOLTANI, N.; SHROPSHIRE C.; COWAN, T. Tolerance of white beans to postemergence broadleaf herbicides. **Weed Technology**, v. 18, n. 4, p. 893-901, 2004.

SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2007. Cap. 3, p. 83-148.

SILVA, V. P. **Eficiência e residual no solo de herbicidas aplicados em pós-emergência na cultura do feijão**. Dissertação mestrado. Viçosa – MG, 2012.

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

VIDAL, Ribas A. **Ação dos herbicidas: absorção, translocação e metabolização**. Porto Alegre: Ribas A. Vidal, 2002. 89 p.

WELLER, S. **Principles of selective weed control with herbicides**. In: Herbicide action course. West Lafayette: Purdue University, 2003a. p. 101-130.