

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA  
VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**FITOTOXICIDADE E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE  
DO HERBICIDA SAFLUFENACIL EM CULTIVARES  
DE TRIGO**

**FERNANDA BRUM MARTINS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Mestre em Agronomia- Área de Concentração em Produção Vegetal.

Passo Fundo, fevereiro de 2017

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA  
VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**FITOTOXICIDADE E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE  
DO HERBICIDA SAFLUFENACIL EM CULTIVARES  
DE TRIGO**

**FERNANDA BRUM MARTINS**

**Orientador: Prof. Dr. Mauro Antônio Rizzardi**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Mestre em Agronomia- Área de Concentração em Produção Vegetal.

Passo Fundo, fevereiro de 2017



A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação.

**“FITOTOXICIDADE E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO HERBICIDA SAFLUFENACIL EM  
CULTIVARES DE TRIGO”**

Elaborada por

**Fernanda Brum Martins**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestra em  
Agronomia – Produção e Proteção de Plantas

Aprovada em: 24/02/2017  
Pela Comissão Examinadora

  
**Dr. Mauro Antonio Rizzardi**  
Presidente da Comissão Examinadora  
Orientador

  
**Dra. Eunice Oliveira Calvete**  
Coord. Prog. Pós-Graduação em Agronomia

  
**Dra. Jurema Schons**  
UPF

  
**Dr. Hélio Carlos Rocha**  
Diretor FAMV

  
**Dr. Anderson Nunes**  
IFRS - Sertão

## CIP – Catalogação na Publicação

- 
- M386f Martins, Fernanda Brum  
Fitotoxicidade e atividade antioxidante do herbicida  
saflufenacil em cultivares de trigo / Fernanda Brum Maritns. –  
2017.  
127 f. : il. color. ; 30 cm.
- Orientador: Prof. Dr. Mauro Antônio Rizzardi.  
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade  
de Passo Fundo, 2017.
1. Trigo - Produção. 2. Ervas daninhas - Controle. 3.  
Plantas - Efeito dos herbicidas. I. Rizzardi, Mauro Antônio,  
orientador. II. Título.

CDU: 633.11

---

Catalogação: Bibliotecária Jucelei Rodrigues Domingues – CRB 10/1569

“A ciência se torna fascinante quando você não fica só na teoria”

Marcelo Gleise

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

**Fernanda Brum Martins**, filha de Dionizio de Campos Martins e Evanir de Fátima Brum Martins, nasceu nos quinze dias do mês de março de 1990, no município de Palmeira das Missões, estado do Rio Grande do Sul.

Formada em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, em setembro de 2013.

Ingressou no mestrado em Agronomia - área de concentração em Produção Vegetal, com ênfase em manejo de Plantas Daninhas, na Universidade de Passo Fundo – UPF, em março de 2014, sob orientação do Prof. Dr. Mauro Antônio Rizzardi.

Durante o mestrado desenvolveu estudo da fitotoxicidade e atividade antioxidante de cultivares de trigo ao herbicida saflufenacil para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho integralmente à minha família, em especial  
à minha mãe Evanir de Fátima Brum Martins*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela proteção e apoio nos momentos difíceis, superação das dificuldades e forças para lutar por meus objetivos.

Aos meus pais, Dionizio e Evanir por terem me concebido à vida e ensinado valores como honestidade, respeito, disciplina e perseverança.

Ao orientador, Prof. Dr. Mauro Antônio Rizzardi pelo conhecimento transmitido, paciência e compreensão necessária durante a execução deste trabalho, obrigada!

A Professora Jurema Shons pela ajuda e orientação durante o trabalho em laboratório e pelo exemplo de profissional.

Aos professores do PPGAgro, pela oportunidade de convívio, crescimento e amizade.

A UPF e a Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária pela estrutura necessária para a condução dos trabalhos.

A CAPES, pela concessão da bolsa do curso de mestrado.

Aos graduandos em Agronomia Maurício Três e Júnior Sartori, pelo auxílio durante a condução dos experimentos e amizade.

Aos colegas de Pós-Graduação do PPGAgro- UPF, Patrícia Frizon, Valeska Hettwer, Leandro Costa, Cristiano Piasecki e Cátia Trevisan.

Aos amigos Carla Santos, Camila Tauroco, Nelson Anhaia, Tiago dos Santos, Adão Saurin, Elaine Deuner e Gabriel Menegazzi.

MUITO OBRIGADO!

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>xiv</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>5</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>RESUMO.....</b>	<b>21</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>24</b>
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>32</b>
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>60</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>RESUMO.....</b>	<b>61</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>64</b>
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>67</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>71</b>
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>99</b>
<b>3 COSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>100</b>
<b>4 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>102</b>

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I - Fitotoxicidade de cultivares de trigo ao herbicida saflufenacil

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Fitotoxicidade do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo, aos 3 dias após a aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2014.....	33
2	Fitotoxicidade do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo, aos 7 dias após a aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2014.....	35
3	Fitotoxicidade do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo, aos 14 dias após a aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2014.....	37
4	Fitotoxicidade do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo, aos 35 dias após a aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2014.....	39
5	Redução de matéria seca de parte aérea de cultivares de trigo para doses do herbicida saflufenacil aos 35 dias após aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo/RS, 2014.....	42
6	Fitotoxicidade do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo, aos 3 dias após a aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2015.....	45
7	Fitotoxicidade do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo, aos 7 dias após a aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2015.....	46
8	Fitotoxicidade do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo, aos 14 dias após a aplicação	

	(DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2015.....	47
9	Fitotoxicidade do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo, aos 35 dias após a aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2015.....	49
10	Redução de matéria seca da parte aérea de cultivares de trigo submetida à doses do herbicida saflufenacil, aos 35 dias após aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2015.....	51
11	Fitotoxicidade de cultivares de trigo submetida à doses do herbicida saflufenacil, aos 3 DAA, FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2015.....	53
12	Fitotoxicidade de cultivares de trigo submetida à doses do herbicida saflufenacil, aos 7 DAA. FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2015.....	54
13	Fitotoxicidade de cultivares de trigo submetida às doses do herbicida saflufenacil, aos 14 DAA. FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2015.....	55

## **CAPÍTULO II - Atividade antioxidante de cultivares de trigo submetidas à aplicação do herbicida saflufenacil**

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Concentração de peróxido de hidrogênio $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ de cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas às 0, 10, 20, 48 e 80 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.....	72
2	Atividade da superóxido dismutase (SOD) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliada a 0 hora após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS,	

	2015.....	76
3	Atividade da superóxido dismutase (SOD) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 10 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.....	77
4	Atividade da superóxido dismutase (SOD) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 20 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.....	79
5	Atividade da superóxido dismutase (SOD) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 48 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.....	81
6	Atividade da superóxido dismutase (SOD) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 80 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.....	82
7	Atividade da ascorbato peroxidase (APX) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliada a 0 hora após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.....	84
8	Atividade da ascorbato peroxidase (APX) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 10 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.....	85
9	Atividade da ascorbato peroxidase (APX) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 20 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.....	87
10	Atividade da ascorbato peroxidase (APX) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 48 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS,	

	2015.....	88
11	Atividade da ascorbato peroxidase (APX) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 80 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.....	89
12	Atividade da catalase (CAT) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 0 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.....	91
13	Atividade da catalase (CAT) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 10 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.....	93
14	Atividade da catalase (CAT) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas a 10 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.....	94
15	Atividade da catalase (CAT) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 48 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.....	96
16	Atividade da catalase (CAT) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 80 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.....	97

**LISTA DE TABELAS****CAPÍTULO I - Fitotoxicidade de cultivares de trigo ao herbicida saflufenacil**

<b>Tabela</b>		<b>Página</b>
1	Componentes do rendimento e rendimento de grãos de cultivares de trigo BRS Parrudo e Fundacep 52, em resposta à dose do herbicida saflufenacil. Passo Fundo, RS, 2015.....	58

**LISTA DE APÊNDICES**

<b>Apêndice</b>		<b>Página</b>
1	Resumo da análise de variância do capítulo I referente ao efeito de saflufenacil sobre cultivares de trigo.....	123
2	Resumo da análise de variância do capítulo II referente ao efeito de saflufenacil sobre a atividade enzimática de cultivares de trigo.....	129

## **FITOTOXICIDADE E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO HERBICIDA SAFLUFENACIL EM CULTIVARES DE TRIGO**

**FERNANDA BRUM MARTINS**

### **RESUMO –**

MARTINS, Fernanda Brum. **Fitotoxicidade e atividade antioxidante do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo.** [127] f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

A presença de plantas daninhas junto à cultura do trigo reduz à disponibilidade de água, luz, nutrientes e é contaminante físico dos grãos após a colheita. Estas colaboram para o aumento dos custos de produção agrícola. Para o manejo de plantas daninhas, o controle químico é o método mais utilizado, por permitir a intervenção em grandes áreas com reduzida mão-de-obra e rapidez na aplicação. No entanto, este é dificultado pela limitada disponibilidade de herbicidas seletivos à cultura do trigo e crescente ocorrência de biótipos resistente aos herbicidas utilizados. Todavia, considerando os mecanismos de ação disponíveis para a cultura do trigo, deve-se buscar novas alternativas, tanto para manejar estas plantas, quanto para prevenir a seleção de novos biótipos resistentes. O objetivo do trabalho foi quantificar a fitotoxicidade e atividades enzimáticas de cultivares de trigo em resposta ao estresse oxidativo causado pelo herbicida saflufenacil em pós-emergência. Também foram estudadas a

produção de matéria seca (MS) e rendimento de grãos em resposta ao tratamento herbicida. Os resultados de fitotoxicidade e MS demonstraram possibilidade de uso de saflufenacil para as cultivares Tec 10, Tec 03/2013, BRS Parrudo, Fundacep Cristalino, Fundacep 52, e Jadeíte 11, para o intervalo de doses de 7 a 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>. Estas cultivares apresentam, recuperação dos sintomas após o tratamento herbicida. A aplicação do herbicida saflufenacil não altera o teor de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, porém, o comportamento entre as cultivares difere entre as épocas de coleta do material vegetal. Além disso, o aumento da dose estimula a atividade das enzimas antioxidantes. A atividade das enzimas SOD, APX e CAT das cultivares de trigo estudado varia de acordo com a dose do herbicida e época de coleta do material vegetal. As cultivares BRS Marcante, Jadeíte 11 e ORS Vintecinco apresentam maior capacidade em eliminar o estresse oxidativo causado pelo herbicida saflufenacil nas doses de 7; 14; 21, 28 e 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** pós-emergência, dose-resposta, estresse oxidativo, variabilidade.

**PHYTOTOXICITY AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF SAFLUFENACIL HERBICIDE IN WHEAT CULTIVARS.**

**FERNANDA BRUM MARTINS**

MARTINS, Fernanda Brum. **Phytotoxicity and antioxidant activity of saflufenacil herbicide in wheat cultivars.** [127] f. Dissertation (Master in Agronomy) – University of Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

**ABSTRACT** - The presence of weeds along the wheat tillage reduces the availability of water, light, nutrients and it is physical contaminant of the grains after the harvest. Such weeds contribute for the increasing of costs for the agricultural production. To manage against weeds, the chemical control is the most used method, since it allows the intervention in large areas with reduced workforce and speeds on the application. However, it is hampered by the limited availability of selective herbicides to the wheat tillage and increasing occurrence of biotypes resisting to the used herbicides. Still, considering the action mechanisms available for the wheat tillage, one must try to find new alternatives, both to manage those plants and also to prevent the selection of new resisting biotypes. The objective of the paper was to quantify the phytotoxicity and enzymotic activities of wheat cultivars answering to the oxidative stress caused by saflufenacil herbicide in post-emergence. Also they were studied the dry matter production (DM) and grain profit concerning the herbicide treatment. The results

for phytotoxicity and DM showed the possibility of the use of saflufenacil for the cultivars Tec 10, Tec 03/2013, BRS Parrudo, Fundacep Cristalino, Fundacep 52 and Jadeíte 11, having the gap doses from 7 to 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>. These cultivars show recovering of symptoms after the herbicide treatment. The application of saflufenacil herbicide does not change the H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proportion, yet, the behavior among the cultivars differs within the times for vegetal matter collecting. Furthermore, the increasing of the dose brings about the antioxidant enzyme activity. The enzymes SOD, APX and CAT from the wheat cultivars which were studied, vary according to the herbicide dose and the time for the vegetal matter collecting. The cultivars BRS Marcante, Jadeíte 11 and ORS Vintecinco show better capacity to do away with the oxidative stress caused by saflufenacil herbicide on the doses 7; 14; 21; 28 and 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>.

**Key words:** post-emergence; answer-dose; oxidative stress; variability.

## 1 INTRODUÇÃO

O trigo no Brasil, na safra de 2015, foi de aproximadamente 2,45 milhões de hectares, sendo o Rio Grande do Sul (RS) responsável por 38% desta área, com produtividade média de 2260kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2016). Entretanto, a produtividade está abaixo do potencial produtivo da cultura, em decorrência, em parte, do controle insatisfatório de plantas daninhas. Estas causam prejuízos quantitativos e qualitativos à produção do trigo (PAULA et al., 2011). A competição com as plantas daninhas causa elevadas perdas na produtividade do trigo e ocasiona acréscimo nos custos de produção, como a utilização de herbicidas (LAMEGO et al., 2013).

Entre os métodos de controle de plantas daninhas, o controle químico é o mais utilizado e caracterizado por permitir a intervenção em grandes áreas com pouca dependência de mão de obra e rapidez na aplicação (SILVEIRA et al., 2012). Contudo, este método é dificultado pela limitada disponibilidade de herbicidas seletivos registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) em pós-emergência para a cultura no Brasil.

Dentre as implicações para o controle de plantas daninhas no trigo, está a ocorrência crescente de biótipos resistentes aos herbicidas inibidores de EPSPs, ACCase e ALS, os mais utilizados atualmente para a dessecação ou controle desta planta daninha nas culturas de trigo em pós-emergência, que compromete o controle eficiente durante o ciclo da cultura (DALAZEN, 2012).

Além disso, quando realizado o controle de plantas daninhas em cultivos de inverno tem ficado restrito geralmente, ao uso

exclusivo de apenas um herbicida, metsulfuron-methyl, o que é favorável à seleção de biótipos resistentes (DALAZEN et al., 2015). Ressalta-se que o aumento de casos de resistência de plantas daninhas, especialmente devido à pressão da seleção que resulta da aplicação constante e indiscriminada de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação (COSTA & RIZZARDI, 2014).

O uso de herbicidas com diferentes mecanismos de ação ou pertencentes a diferentes grupos químicos é recomendado para e impedir ou retardar a seleção de biótipos resistentes aos herbicidas, principalmente inibidores da enzima ALS (ADEGAS et al., 2011). Contudo, considerando os mecanismos de ação disponíveis para a cultura do trigo, deve-se buscar novas alternativas tanto para manejar estas plantas quanto para prevenir a seleção de novos biótipos resistentes. Uma das opções é a associação de herbicidas pertencentes a diferentes mecanismos de ação (PAULA et al., 2011).

A tolerância de cultivares de trigo a herbicidas depende do estágio de crescimento em que a cultura se encontra, da dose aplicada, da interação do herbicida com outros agroquímicos, incluindo nutrientes aplicados na cultura (AGOSTINETTO et al., 2016). Dessa forma, é de suma importância a pesquisa de herbicidas que possam ser utilizados de forma segura na cultura do trigo, com o propósito de garantir produtividade satisfatória. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a fitotoxicidade e atividades enzimáticas de cultivares de trigo em resposta ao estresse oxidativo causado pelo herbicida saflufenacil em pós-emergência. Também estudar a produção de matéria seca (MS) e rendimento de grãos em resposta ao tratamento herbicida.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

O trigo (*Triticum aestivum*) é uma cultura proeminente e alimento básico para um terço dos habitantes globais (FAO, 2015). É cultivado tanto em regiões subtropicais quanto tropicais, por apresentar facilidade de adaptação. O cereal é empregado na alimentação humana, na elaboração de produtos não alimentícios (misturas adesivas, para papéis, madeiras, agentes surfactantes, entre outros produtos) bem como na alimentação animal, na forma de forragem, de grão ou na composição de ração (DE MORI & IGNACZAK, 2011).

No Brasil o trigo caracteriza-se, como uma das mais importantes culturas de inverno, por ser alternativa na sucessão com soja em sistema de semeadura direta (DE GOES MACIEL et al., 2011). Dentre os principais sistemas de cultivo praticados no Sul do Brasil, a semeadura da cultura do trigo durante o inverno consiste em uma das melhores opções para reduzir os níveis de infestação de plantas daninhas, para a cultura subsequente, uma vez que, promove a cobertura do solo durante o período (OLIVEIRA NETO et al., 2013).

Atualmente, a produção concentra-se entre os estados do sul e centro-oeste, o Rio Grande do Sul responsável por 26,4% da produção de trigo no país e o estado do Paraná com 43,2%, restando 14% para os demais estados, como Mato Grosso e Goiás (CONAB, 2016). A área de trigo no Brasil na safra de 2015 foi de aproximadamente 2,45 milhões de hectares, sendo o Rio Grande do Sul (RS) responsável por 38% desta área, com produtividade média de 2260 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2016).

Entretanto, a produtividade está abaixo do potencial produtivo da cultura, em decorrência, em parte, do controle insatisfatório de plantas daninhas. Estas causam prejuízos quantitativos e qualitativos à produção do trigo (PAULA et al., 2011). As plantas daninhas competem com as culturas pelos recursos disponíveis no ambiente, liberam substâncias alelopáticas ou podem hospedar pragas e doenças e, como consequência, ocasionam perdas de produtividade e de qualidade dos grãos (GALON et al., 2011).

A interferência é resultado das interações negativas (competição e alelopatia) que ocorrem entre as plantas. Entretanto, a maior interferência ocorre pela competição intra e interespecífica, na parte aérea e sistema radicular das plantas em agroecossistemas (RIZZARDI et al., 2001). Em ecossistemas agrícolas, as plantas daninhas comumente apresentam vantagem competitiva sobre as cultivadas. Isso é consequência do melhoramento genético, que busca desenvolver cultivares com menor estatura; desenvolvimento vegetativo, com elevado acúmulo de fotoassimilados em sementes, frutos, tubérculos; por outro lado, o decréscimo no seu potencial competitivo (PITELLI, 1987).

Diversas espécies daninhas causam perdas econômicas na produtividade da cultura do trigo. Para a classe Magnoliopsidas destacam-se *Raphanus raphanistrum* e *R. sativus* (nabo; nabiça), *Polygonum convolvulus* L. (cipó-de-veado; erva-de-bicho), *Rumex* spp. (língua-de-vaca), *Echium plantagineum* L. (flor-roxa), *Bowlesia incana* Ruiz & Pav. (erva salsa), *Sonchus oleraceus* L. (serralha), *Silene gálica* L. (silene), *Spergula arvensis* L. (gorga; espérgula) e

*Stellaria media* (L.) Vill. (esparguta) que causam prejuízos na cultura (PIRES et al., 2011).

Em anos em que o inverno apresenta temperatura média elevada, ocorrem outras espécies de Magnoliopsidas, frequentes no verão, como: *Bidens pilosa* L. (picão preto), *Ipomoea* spp (corda-de-violão), *Richardia brasiliensis* Gomes (poaia branca), *Euphorbia heterophylla* L. (leiteiro), *Galinsoga parviflora* Cav. (picão branco), *Stachys arvensis* L. (orelha-de-urso) e *Spermacoce latifolia* Aubl. (erva-quente) (VARGAS et al., 2005). Os efeitos da interferência causada por plantas daninhas são irreversíveis ao crescimento e produtividade das culturas (SANTOS, 2012). Estas plantas competem por água, luz, nutrientes, que na maioria das vezes estes recursos estão disponíveis em quantidade insuficiente (FERREIRA et al., 2009). Contudo, o resultado da relação planta daninha-cultura depende inclusive, de outros fatores específicos, como variações meteorológicas, população de espécies presentes e práticas de manejo (AGOSTINETTO, 2008).

O manejo de plantas daninhas representa uma prática fundamental no sistema de produção agrícola para manter elevada produtividade dos cultivos, constituindo o controle químico a tecnologia mais empregada (FRAGA, 2012). O controle químico proporciona rendimento operacional elevado e emprego de menor mão de obra em relação a outros métodos de controle de plantas daninhas (OLIVEIRA, 2013).

Para o controle de plantas daninhas na cultura do trigo há restritos mecanismos de ação seletivos à cultura. Dos quatorze mecanismos de ação disponíveis no mercado, apenas seis estão

presentes no controle químico na cultura do trigo, que são: inibidores de ALS, inibidores de ACCase, mimetizadores de Auxina Sintética, inibidores de Fotossistema II, inibidores de polimerização de tubulina e recentemente inibidores de PROTOX. Dentre os herbicidas seletivos utilizados, 33%, correspondem ao mecanismo de ação ALS (E. C. 2. 2. 1. 6), mecanismo com maior número de casos de biótipos resistentes ao uso de herbicidas nos últimos anos (HEAP, 2016). Dentre os herbicidas encontramos metsulfuron-methyl, iodosulfuron-methyl, piroxsulan e imazamox (PIRES et al., 2011; DOW AGROSCIENCES, 2015; JIMÉNEZ et al., 2016). Além disso, é registrado 2,4 D amina e picloram do mecanismo de ação Auxina Sintética. Também é recomendado o uso de metribuzin e bentazon, ambos inibidores do Fotossistema II. (PIRES et al., 2011; REUNIÃO.. 2015).

Para o controle exclusivo de Liliopsidas, diclofop-metil e clodinafop-propargil ambos do mecanismo de ação Inibidores da ACCase (E. C. 6. 4. 1. 2), indicado em pré-emergência (PIRES et al., 2011). Recentemente, saflufenacil do mecanismo de ação inibidor de PROTOX (E.C. 1. 3. 3. 4) para o controle de Magnoliopsidas e algumas Liliopsidas, em pré-emergência da cultura do trigo (BASF, 2010).

O aumento de casos de biótipos resistentes a herbicidas é decorrente do uso indiscriminado de herbicidas, com o mesmo modo de ação, muitas vezes do mesmo grupo químico, que contribui para a pressão de seleção (AGOSTINETTO & VARGAS, 2015). Além disso, a dependência do uso do herbicida glifosato a partir do surgimento de Organismos Geneticamente Modificados resistente a

esse herbicida (GEIER et al., 2009). O aparecimento de biótipos resistentes ocorre, com maior frequência, em áreas onde há uso repetido de herbicidas de um mesmo grupo químico ou pertencentes a diferentes grupos químicos, mas com o mesmo mecanismo de ação (POWLES & YU, 2010). Nesse sentido, é necessário fazer uso da rotação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação ou com diferentes mecanismos de detoxificação, porém efetivos sobre o mesmo espectro de plantas daninhas (CHRISTOFFOLETI & LÓPEZ-OVEJERO, 2003).

Entretanto, o processo de desenvolvimento e registro de novos herbicidas representa altos investimentos para a indústria química, Hartwig, (2008), dificultando a inserção de novas moléculas no mercado que permitam novas alternativas para o controle químico. Diante das limitações para desenvolvimento e registro de novos compostos químicos, têm-se buscado ampliar as possibilidades de uso de herbicidas, atualmente, comercializados pelas indústrias químicas. Utiliza-se a identificação de genes de tolerância ou de resistência e consequente transferência para espécies até então suscetíveis, usando ferramentas biotecnológicas (HARTWIG, 2008). E através de estudos realizados por pesquisadores de empresas públicas e privadas avaliando o grau de tolerância das culturas a herbicidas não registrados para estas.

Neste contexto, tem-se buscado opções para rotação de mecanismos de ação existentes, recentemente foi verificado estudos com saflufenacil em pós-emergência para a cultura do trigo em diferentes regiões produtoras no Canadá, Grossmann et al., (2010), Estados Unidos da América, Frihauf et al., (2010). Ambos têm como

objetivo avaliar a sensibilidade da cultura do trigo ao herbicida em pós-emergência, como alternativa de controle para plantas Magnoliopsidas presentes na cultura, com resultado satisfatório.

Saflufenacil foi comercialmente introduzido em 2010, indicado para a dessecação de culturas, manejo pré-plantio e controle pré-residual das principais plantas daninhas Magnoliopdas, em diversas culturas como milho (*Zea mays* L.), soja (*Glycine max* (L.) Merrill), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e trigo (*Triticum aestivum* L.) (LIEBL et al., 2008; GROSSMANN et al., 2010; KNEZEVIC et al., 2010;). Saflufenacil é um herbicida do grupo químico pirimidinadiona, cuja função é inibir a enzima protoporfirinogênio oxidase (PPO ou PROTOX) (E. C. 1.3.3.4). Esta enzima catalisa a conversão de protoporfirogênio oxidase IX em protoporfirina IX na biossíntese de tetrapirroles (GROSSMANN et al., 2010). A inibição da enzima impede a síntese de clorofila, hemes e citocromos no cloroplasto.

O mecanismo de ação de inibição da enzima protoporfirinogênese oxidase (PROTOX) atua, induzindo acúmulo de porfirinas e consequente peroxidação dos lipídeos de membranas, levando as plantas suscetíveis à morte em poucos dias (MOREIRA et al., 2010). Assim, é rompida a integridade das membranas, causando um extravasamento do suco celular que, conseqüentemente, gera branqueamento dos pigmentos clorofilados, necrose dos tecidos e finaliza com a morte da planta (GROSSMANN et al., 2011). Além disso, a elevada concentração de protoporfirina que se acumula nos tecidos, resulta na oxidação, que em exposição à luz as moléculas citosólicas interagem como o oxigênio, formando radicais de oxigênio

singleto, que peroxidam os ácidos graxos insaturados das membranas celulares (FRIHAUF et al., 2010). Este herbicida é rapidamente absorvido tanto pelas folhas quanto pelas raízes e caules jovens. Uma vez absorvido, ele é predominantemente translocado via xilema com pouco movimento pelo floema (MENALLED, 2012).

Saflufenacil apresenta tanto ação de contato, como residual em plantas daninhas suscetíveis, que comumente exibem sintomas iniciais de injúrias em poucas horas após a aplicação (LIEBL et al., 2008). Dessa forma, o uso de herbicidas inibidores da PROTOX, possibilitam a utilização no controle em pós-emergência, por apresentar a capacidade de penetrar tanto pelas raízes, caules ou folhas jovens das plantas (RIZZARDI et al., 2004). Saflufenacil pode ser usado em pré-plantio na dessecação para controle de dicotiledôneas, incluindo biótipos resistentes ao glifosato (MENALLED, 2012). Quando aplicado em pré-emergência, permite ser usado com segurança em cultivares específicas de ervilha (*Pisum sativum* L.) e soja, na dose de 100 g i. a. ha<sup>-1</sup> e, em pós-emergência da cultura do milho (50 ou 100 g i. a. ha<sup>-1</sup>), sem a associação de adjuvante (SOLTANI et al., 2009). No entanto, para aplicação em pós-emergência, a molécula desenvolvida deve ser associada com o adjuvante, grupo químico hidrocarboneto aromático, ésteres metílicos e polioliol fosfatado (Dash HC), (BASF, 2010). Estudo realizado por Geier et al., (2009), evidenciou que o herbicida saflufenacil, quando aplicado em pós-emergência, foi eficiente no controle de caruru (*Amaranthus palmeri* S.Watson).

De acordo com Davis et al., (2010), para o controle em área total, o herbicida saflufenacil foi o único tratamento que reduziu

em mais de 90% a densidade de buva (*Conyza spp.*) em relação ao 2,4-D + glifosato. Dessa forma, o uso do herbicida saflufenacil em pós-emergência, buscando a seletividade em cultivares de trigo, pode ser uma alternativa para o controle de plantas daninhas Magnoliopsidas presentes na cultura. Assim, proporciona a rotação de mecanismos de ação em associação com os herbicidas já disponíveis para a cultura.

É oportuno destacar que se entende como seletividade a capacidade de um herbicida eliminar plantas daninhas em determinada cultura, sem reduzir sua produtividade, por apresentar diferentes respostas entre as plantas (VELINI, 2000). A seletividade é determinante para o êxito do controle químico de plantas daninhas na produção agrícola. Em outras palavras, um herbicida ser mais tóxico para algumas plantas que para outras, em uma faixa específica de dose, métodos de aplicação e condições ambientais antes e após a aplicação (OLIVEIRA Jr. & CONSTANTIN, 2001).

Cabe frisar que, para determinar a sensibilidade da cultura à determinado herbicida, é necessário levar em consideração as alterações causadas por ele nas plantas. Um exemplo disso são as avaliações enzimáticas e de estresse celular. Neste caso são necessários, pois a utilização de herbicidas, embora seletivos a cultura, podem provocar distúrbios no metabolismo das plantas (HAN & WANG, 2002). Dessa maneira, a terminologia “seleção” refere-se à atuação do produto, que provoca morte à planta (OLIVEIRA et al., 2011). Assim, agem no metabolismo causando efeitos secundários nas plantas, quando administrados em doses letais ou subletais (LYDON & DUKE, 1989).

A ausência de injúrias visuais em plantas tratadas com um determinado herbicida não é suficiente para determinar a sua tolerância a este produto, requerendo uma avaliação mais detalhada na quantidade e qualidade do seu produto final (COSTA, 2012).

Por exemplo, herbicidas inibidores da PROTOX, apresentam diferença na absorção, e, translocação, frequentemente limitada, entre espécies de plantas (HIGGINS et al., 1998). Biótipos de *Euphorbia heterophylla*, com resistência a inibidores de PROTOX, apresentaram absorção limitada do herbicida, proporcionando controle insatisfatório, mesmo com aumento da dose (TREZZI et al., 2009). Em situações de estresses provados por fatores bióticos, abióticos ou xenobióticos, há aumento das EROs, gerando estresse oxidativo (STRATMANN, 2003), forçando as plantas a buscar resposta de defesa para superar tais estresses e retornar à condição normal do metabolismo (BHATTACHARJEE, 2005; TAUROCO, 2014). As EROs são altamente reativas na célula e podem causar danos celulares mais intensos como alterações no DNA, oxidação de proteínas e peroxidação de lipídios (GILL & TUTEJA, 2010).

Alguns mecanismos de ação herbicida como, inibidores da enzima PROTOX, atuam inibindo a enzima protoporfirógeno oxidase, enzima pertencente a rota de síntese de clorofila e citocromo são capazes de gerar estresse oxidativo em plantas, levando a inibição do seu desenvolvimento e até a morte (MEROTTO Jr & VIDAL, 2001; FOYER & NOCTOR 2003). A ação do herbicida ocorre a partir da sua competição com o protoporfirinogênio IX pelo sítio ativo da enzima PROTOX, impedindo a produção de protoporfirina IX e resultando em acúmulo de protoporfirinogênio IX no cloroplasto. A

partir deste acúmulo, o protoporfirinogênio IX se difunde do cloroplasto para o citoplasma, onde é transformado em protoporfirina IX, que é um composto altamente fotodinâmico e após oxidação resulta em oxigênio singlete ( $O_2^-$ ), uma espécie reativa de oxigênio (EROs), que por sua vez, desencadeiam processos oxidativos como a peroxidação de lipídeos das membranas, levando à destruição das membranas celulares, acarretando estresse oxidativo (CARVALHO, 2003).

O rápido acúmulo de protoporfirina IX indica a ocorrência de determinada desregulação da via biosintética, atuando como uma bomba de EROS e acelerando o processo de estresse oxidativo. Além desses efeitos, a inibição da protoporfirogênio IX interfere na síntese do grupo heme (precursor de citocromo), responsável pelo controle de do ácido 5-aminolevulinico ( $\delta$ -ALA), precursor da porfirina a partir do glutamato (WETTSTEIN et al., 1995). Portanto, quando plantas são tratadas com inibidores de PROTOX, o primeiro dano detectável é o extravasamento celular, seguindo da inibição da fotossíntese, liberação de etileno e etano, logo destruição dos pigmentos cloroplastos (KENYON et al., 1985). Características do efeito fotodinâmico, desses inibidores na peroxidação das membranas (XAVIER et al., 2014). Isso decorre quando a regulação é perdida e o estresse é severo, aumentando consideravelmente a produção de radicais livres que podem levar a uma cascata de eventos que inicia com a peroxidação de lipídeos, avançando para a degradação de membranas e morte celular (GREGGAINS et al., 2000).

Por apresentar uma complexa série de fenômenos, o estresse oxidativo estimula o aumento simultâneo em diversos componentes do

sistema de defesa antioxidante, a fim de se obter um aumento substancial na tolerância ao estresse (RADETSKI et al., 2000). Estes antioxidantes permitem evitar a formação de radicais livres, sequestrá-los ou promover sua degradação, evitando a ocorrência de danos às células das plantas (SERKEDJIEVA, 2011). As estratégias de defesa, desenvolvidas pelas plantas em resposta a toxicidade dos herbicidas é composto por várias enzimas, responsáveis em manter a integridade da célula. Dentre as enzimas antioxidante de atuação mais importantes estão: superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT) são as (BARBOSA et al., 2014).

As SODs localizam-se principalmente nas mitocôndrias e nos cloroplastos. A SOD atua na redução da concentração de superóxido, desempenha um papel principal na eliminação de espécies reativas de oxigênio (EROs) durante os processos oxi- redução (HUSEYNOVA et al., 2014). A atividade da SOD é iniciada quando a planta encontram-se em condições de estresse oxidativo, como uma resposta para metabolizar os radicais superóxido  $O_2^{\cdot-}$  em  $H_2O_2$  e  $O_2$ . O aumento da atividade da enzima SOD, ocorre a medida que exige-se, limitar a peroxidação dos lipídios produzida pelos radicais  $O_2^{\cdot-}$ , devido ao elevado nível de estresse oxidativo. Nesse sentido, atividade elevada da SOD, correlaciona-se ao aumento da tolerância ao estresse em plantas (SCANDALIOS, 2000). Uma vez que dismuta o  $O_2^{\cdot-}$ , agindo indiretamente na redução do risco de formação do  $OH^{\cdot}$  a partir do  $O_2^{\cdot-}$  (DUBEY, 2011). Assim, a atividade da enzima SOD é empregada como indicador de estresse oxidativo causado pela aplicação de herbicidas, existindo correlação entre o estresse oxidativo e a atividade da SOD (XAVIER 2014). Contudo, a dismutação do  $O_2^{\cdot-}$

a  $H_2O_2$  é extremamente rápida e pode ocorrer tanto de forma espontânea como catalizada pela enzima SOD (BHATTACHARJEE, 2013).

As enzimas CAT e a APX são as mais importantes dentre os componentes de desintoxicação do  $H_2O_2$  (BHATT & TRIPATHI, 2011). Em conjunto, estas enzimas representam componentes importantes do sistema de proteção oxidativa em folhas e raízes de diversas culturas (MAIA et al., 2012). A CAT converte duas moléculas de  $H_2O_2$  a  $H_2O$  e oxigênio molecular (DUBEY, 2011). A enzima CAT e o ciclo do ascorbato-glutationa, apresentam propriedades e requisitos distintos, mas que funcionam em paralelo durante a eliminação do  $H_2O_2$ . Por atuar na ausência de agente redutor a CAT, ela fornece às plantas uma forma energeticamente eficiente para remoção do  $H_2O_2$  (SHARMA et al., 2012). Assim, sua atividade é efetiva, principalmente, em concentrações relativamente altas de  $H_2O_2$  (mM), nesse sentido, são consideradas indispensáveis para a desintoxicação de EROs, especialmente em condições de estresse severo, quando os níveis de  $H_2O_2$  estão maiores (DUBEY, 2011). Dessa forma, a determinação da atividade da CAT, é determinada a partir do consumo de  $H_2O_2$  (XAVIER, 2014).

Outra enzima atuante na dismutação do  $H_2O_2$  é a APX, uma heme-proteína. As APX são consideradas enzimas mais importantes na eliminação de  $H_2O_2$  no citosol e nos cloroplastos (HUSEYNOVA et al., 2014). Nos cloroplastos e mitocôndrias a APX atua no ciclo ascorbato-glutationa, no qual o  $H_2O_2$  formado pela ação da SOD é reduzido pelo ascorbato (MITTLER, 2002; LOCATO et al., 2010). Esta enzima utiliza o ascorbato como seu doador de elétrons

específico para reduzir  $H_2O_2$  em água, constituindo parte do ciclo conhecido como ciclo da ascorbato-glutationa ou ciclo Halliwell-Asada (SHIGEOKA et al., 2002). De acordo com Polle (2001), este ciclo é uma via eficiente de planta que dispõe de  $H_2O_2$  em determinados compartimentos onde este metabólito é produzido e não existe catalase presente, como por exemplo, no cloroplasto (MITTLER, 2002). Este ciclo faz uso dos antioxidantes não enzimáticos como ascorbato e glutaciona em uma série de reações catalisadas por quatro enzimas antioxidativas, verificado em cloroplastos, citosol e mitocôndrias de nódulos radiculares (POLLE, 2001). Tem alta afinidade com o  $H_2O_2$ , com uma constante de Michaelis-Menten ( $K_M$ ) na ordem de  $\mu M$ , permitindo a eliminação do  $H_2O_2$  mesmo em baixas concentrações (LOCATO et al., 2010; SHARMA et al., 2012). Contudo, a dinâmica do funcionamento da APX, pode diferir entre as plantas da mesma espécie, como por exemplo, variedades de trigo tetraplóides e hexaplóides, onde a máxima atividade foi observado até o final da floração para tetraplóides, enquanto que em hexaplóides foi verificado até a alongação (HUSEYNOVA et al., 2014).

A atividade antioxidante das enzimas visam minimizar os efeitos adversos causados pela aplicação de herbicidas (JIANG et al., 2016). Todavia, a produção de EROs pode ser benéfica para as plantas em baixas quantidades, sendo crucial para a indução de mecanismos de proteção das plantas quando expostas aos estresses abiótico e biótico (FERREIRA, 2007). Deve-se destacar que o crescimento, desenvolvimento e equilíbrio biológico estão relacionados com a composição genética das plantas, bem como a regulação dos genes (LI

& YI, 2012). Segundo Kumaresan et al., (2015), xenobióticos podem induzir a expressão de múltiplos genes na planta. Todavia, o estudo da sensibilidade de plantas cultivadas a aplicação de herbicida tem possibilitado alternativa eficiente no controle das plantas daninhas para as principais culturas de importância agrônômica no Brasil, em especial nas últimas três décadas. Logo, estudos referentes a sensibilidade de cultivares de trigo em pós-emergência com saflufenacil são limitados, afim de determinar se há tolerância da cultura ao tratamento com o herbicida.

## CAPÍTULO I

### FITOTOXICIDADE DE CULTIVARES DE TRIGO AO HERBICIDA SAFLUFENACIL

FERNANDA BRUM MARTINS

#### RESUMO

MARTINS, Fernanda Brum. **Fitotoxicidade e atividade antioxidante do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo.** [127] f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

O controle químico é o método mais utilizado para a eliminação de plantas daninhas no trigo. No entanto, esse é dificultado pela limitada disponibilidade de herbicidas seletivos e ocorrência crescente de biótipos resistentes aos herbicidas utilizados. O objetivo deste trabalho foi avaliar a fitotoxicidade de cultivares de trigo ao herbicida saflufenacil aplicado em pós-emergência na cultura do trigo.

Foram realizados três experimentos, dois em casa e vegetação e um no campo. Para cada experimento variou o número de cultivares avaliadas, entretanto, o tratamento herbicida foram doses crescentes de saflufenacil (7; 14; 21; 28; e 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>) e uma testemunha sem herbicida. Para todas as doses foi adicionado 0,5% v<sup>-1</sup> de surfactante não iônico. Os resultados de sintomas visuais do herbicida e produção

de matéria seca (MS), verificados no Experimento I e II, demonstram as cultivares, Tec 10, Tec 03/2013, BRS Parrudo, Fundacep Cristalino e Jadeíte 11, possibilidade de uso de saflufenacil em pós-emergência, para o intervalo de doses de 7 a 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>. Observou-se para estas cultivares mínima redução de matéria seca e fitotoxicidade durante a condução dos experimentos. Contudo, a cultivar Fundacep Cristalino não reduziu MS até a dose de 28 g i. a. ha<sup>-1</sup>. No Experimento III, realizado no campo, as cultivares Fundacep 52 e BRS Parrudo não reduziram a MS e rendimento de grãos em relação a testemunha para todas as doses de saflufenacil. Além disso, a fitotoxicidade foi inferior que nos demais experimentos, além de apresentar ausência dos sintomas a partir dos 35 dias após aplicação do herbicida.

**Palavras-chave:** pós-emergência, variabilidade, tolerância, controle químico.

## CHAPTER I

### PHYTOTOXICITY OF WHEAT CULTIVARS TO SAFLUFENACIL HERBICIDE

#### ABSTRACT

MARTINS, Fernanda Brum. **Phytotoxicity and antioxidant activity of saflufenacil herbicide in wheat cultivars.** [127] f. Dissertation (Master in Agronomy) – University of Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

The chemical control is the most used method to eliminate weeds on the wheat. However, it is hampered by the limited availability of selective herbicides and increasing occurrence of biotypes resisting to the used herbicides. The objective of this paper was to evaluate the cultivars sensibility of wheat to saflufenacil herbicide applied in post-emergence on the wheat tillage. They were carried out 3 (three) experiments, two in the greenhouse and one in the field. For each experiment the number for evaluated cultivars varied, nevertheless, the herbiced treatment were increasing doses of saflufenacil (7; 14; 21; 28; and g i. a. ha<sup>-1</sup>) and one sample without herbicide. For all the doses it was added 0,5% v<sup>-1</sup>. of nonionic surfactants. The results for visual symptoms of the herbicide and dry matter production (DM), which were verified on the Experiment I and II, showed the cultivars, Tec 10, Tec 03/2013, BRS Parrudo, Fundacep Cristalino and Jadeide 11, possibility of saflufenacil use in post-emergence, for the gap doses

from 7 to 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>. It was observed for such cultivars minimum reduction of dry matter and phytotoxicity during the experiments conduction. However, the cultivars Fundacep Cristalino did not reduce to the dose 28 g i. a. ha<sup>-1</sup>. On the Experiment III, which was carried out in the field, the cultivars Fundacep 52 and BRS Parrudo did not reduce the DM and the grain profit related to the sample regarding all the saflufenacil doses. Besides, the phytotoxicity was lower than on the other experiments, also presenting absence on the symptoms since the 35 days after the herbicide application.

**Key words:** post-emergence; answer-dose; variability; chemical control.

## 1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) representa, aproximadamente, 30% da produção mundial de grãos (DE MORI & IGNACZAK, 2011). Dentre as práticas culturais, o manejo de plantas daninhas visa eliminar estas plantas da área, reduzindo a competição de recursos do ambiente com a cultura (FAVARATO et al., 2014). O uso de herbicidas é atribuído principalmente à eficiência e uniformidade de controle das espécies daninhas, amplo espectro de ação, possibilidade de controle em extensas áreas e baixo custo, em relação a outros métodos de controle (DAL MAGRO, 2009).

Entretanto, dos dezesseis mecanismos de ação registrados, apenas cinco estão presentes no controle químico na cultura do trigo, que são: ALS, ACCase, mimetizadores de Auxina Sintética, FS II e recentemente PROTOX (MAPA, 2016). Destes herbicidas disponíveis, 33% pertencem ao mecanismo de ação ALS, mecanismo com maior ocorrência de biótipos resistentes ao uso de herbicidas nos últimos anos (HEAP, 2016). Ressalta-se a aplicação sucessiva do mesmo herbicida ou de herbicidas diferentes, mas com o mesmo mecanismo de ação, pode selecionar plantas daninhas resistentes (SANTOS et al., 2015).

Todavia, considerando os mecanismos de ação disponíveis para a cultura do trigo, deve-se buscar novas alternativas tanto para manejar estas plantas quanto para prevenir a seleção de novos biótipos resistentes. Uma das opções é a associação de herbicidas pertencentes a diferentes mecanismos de ação (MOREIRA et al., 2010; PAULA et al., 2011). No entanto, o desenvolvimento e registro de novos

compostos químicos de mecanismos de ação é limitada por fatores ambientais e econômico, por parte das indústrias (HARTWIG et al., 2008).

Diante das limitações, busca-se ampliar as possibilidades de controle, através do uso de herbicidas já registrados para outras culturas, a partir da avaliação de sensibilidade das cultivares a estes herbicidas. Trabalhos de pesquisa indicam que tanto as plantas daninhas como as cultivadas apresentam variabilidade no grau de tolerância a determinados herbicidas (DAL MAGRO et al., 2006; FONTANA et al., 2007). Compreende-se como sensibilidade a resposta diferencial de diversas espécies de plantas a um determinado herbicida, que depende das características da molécula do herbicida, bem como da tolerância das plantas cultivadas à sua ação fitotóxica (CAMARGO, 1977). A tolerância das plantas à ação dos herbicidas depende de suas características morfológicas, estruturais e fisiológicas.

Deve-se destacar que pode ser mais tóxico para algumas plantas que para outras em uma faixa específica de dose, variando com a sensibilidade da cultura ao herbicida (CONSTANTIN, 2001). No entanto, para determinar a sensibilidade da cultura à determinado herbicida, é necessário levar em consideração as alterações causadas por ele nas plantas. Os danos causados por herbicidas podem ser desde a redução do comprimento de radículas, clorose, necroses, redução do diâmetro de colmo, e diminuição de matéria seca, paralisação de crescimento e redução de altura entre outros sintomas (BARELA & CHRISTOFFOLETI, 2006).

A sensibilidade de uma cultura é determinada em diferentes parâmetros, devendo-se avaliar o crescimento com base no peso, estatura ou área foliar, ou ainda mudanças fisiológicas, como teor de proteína (SILVA et al., 2015). Saflufenacil é herbicida do grupo químico pirimidina, pertencente, ao mecanismo de ação da PROTOX, que apresenta tanto a ação de contato, como residual em plantas daninhas suscetíveis, exibindo sintomas iniciais de injúrias em poucas horas após a aplicação (LIEBL et al., 2008; GROSSMANN et al., 2010).

O estudo da sensibilidade de plantas cultivadas a aplicação de herbicida tem possibilitado alternativa eficiente no controle das plantas daninhas para as principais culturas de importância agrônômica no Brasil, em especial nas últimas três décadas (HARTWIG et al., 2008). Logo, estudos referentes a sensibilidade de cultivares de trigo em pós-emergência, com saflufenacil, são limitados, a fim de determinar, tolerância da cultura ao tratamento com o herbicida.

Tendo em vista a necessidade da inserção de novos mecanismos de ação no controle químico na cultura do trigo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a fitotoxicidade de cultivares de trigo ao herbicida saflufenacil aplicado em pós-emergência na cultura do trigo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação e campo experimental da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo (FAMV/UPF). Localizado nas coordenadas geográficas S 28° 02' 12'' e O 52° 15' 23''. O clima é subtropical úmido (Cfa) (EMBRAPA, 2013) e o solo classificado como Latossolo Vermelho Escuro (EMBRAPA, 2006). No período de agosto de 2014 a novembro de 2015 foram conduzidos os experimentos:

### Experimento I

O primeiro experimento foi instalado em agosto de 2014. Neste os tratamentos foram compostos por 14 cultivares de trigo (Fundacep Cristalino; Tec 10; Tec 03/2013; Fundacep Horizonte; Jadeíte 11; Tec Vigore; BRS Marcante; BRS Parrudo; TBIO Tibagi; Tec Triunfo; ORS Vintecinco; Topázio; Fundacep Raízes e Fundacep 52) e doses do herbicida saflufenacil (7; 14; 21; 28 e 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>) e uma testemunha sem herbicida. Em todas as doses foi acrescido de surfactante não iônico (Dash 0,5% v.<sup>-1</sup>). Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 14 x 6, com quatro repetições a cada tratamento.

As unidades experimentais consistiram de vasos plásticos de 19 cm de diâmetro e 15 cm de altura, com capacidade volumétrica de 2,9 L perfazendo área superficial de 4,53 cm<sup>2</sup>. Os vasos foram

preenchidos com substrato comercial do tipo Turfa Fértil e solo na proporção 1:1. A adubação foi realizada conforme as necessidades do solo e recomendações para a cultura do trigo (ROLAS, 2004).

As sementes de trigo foram semeadas em 17 de agosto. Na ocasião da semeadura do trigo, foram colocadas sementes além da população desejada, sendo que após 10 dias da emergência as plântulas foram desbastadas, mantendo-se seis plantas de trigo por vaso. Os vasos foram irrigados sempre que necessário, para que não ocorresse deficiência ou excesso hídrico. No estágio de duplo anel, foram aplicados 0,14 g de nitrogênio em cada unidade experimental. Por ocasião do perfilhamento do trigo, os vasos foram retirados da casa de vegetação, para a aplicação do herbicida, a qual foi realizada com pulverizador costal de precisão.

A pontas de pulverização utilizadas foram pontas jato plano XR 11002, na altura de 0,5 m acima do alvo com volume de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup>. Após a aplicação do herbicida, os vasos retornaram a casa de vegetação e permaneceram sem irrigação por 24 horas a fim de não interferir na absorção do herbicida. Aos 3, 7, 14 e 35 dias após a aplicação de herbicida (DAA), avaliou-se, visualmente a fitotoxicidade (FITO), com base na escala, onde nota 0 % correspondeu a nenhum efeito do herbicida e a nota 100% significou morte completa das plantas do vaso.

Aos 7, 14 e 35 DAA, realizou-se a determinação de matéria seca da parte aérea (MS), pela coleta de duas plantas por unidade experimental, acondicionadas em sacos de papel com identificação e mantidas em estufa, em temperatura de 65 ° C por 72 horas até peso constante. Após realizou-se a pesagem das amostras.

## Experimento II

O segundo experimento, foi conduzido de junho a novembro de 2015. Para este experimento, os tratamentos constituíram de seis cultivares de trigo, selecionadas a partir dos resultados obtidos no Experimento I (BRS Parrudo; BRS Marcante; Jadeíte 11; Fundacep 52; Tec 10 e OR Vintecinco), e seis doses do herbicida saflufenacil (7; 14; 21; 28; e 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>) e uma testemunha sem herbicida. Em todas as doses foi adicionado Dash (0,5% v.<sup>-1</sup>). A aplicação do herbicida foi realizada conforme descrito para o Experimento I, quando o trigo estava no estágio de pleno perfilhamento. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 6 x 6, com quatro repetições. A condução do experimento e as avaliações realizadas, deram-se conforme o descrito para o Experimento I.

## Experimento III

O terceiro experimento foi conduzido no campo, no período de junho a novembro de 2015. Neste experimento, os tratamentos foram duas cultivares de trigo (BRS Parrudo e Fundacep 52), seis doses do herbicida saflufenacil (7; 14; 21; 28; e 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>) e uma testemunha sem herbicida. Para todas às doses foi adicionado Dash a 0,5% v.<sup>-1</sup>.

O delineamento usado foi blocos casualizados, arranjos em parcelas sub-divididas. Na parcela principal, alocaram-se as

cultivares e nas sub-parcelas as doses do herbicida. As parcelas experimentais constituíram de 8 fileiras de 2,65 metros de comprimento, perfazendo uma área de 3,60 m<sup>2</sup>.

O solo da área experimental apresentava as seguintes características químicas na profundidade de 0-20 cm: pH (H<sub>2</sub>O) 6,0; M.O. (%) 3,2; Arg. (%) 40,7; Ind. SMP: 6,4; P: 5,4 mg dm<sup>-3</sup>; K: 71 mg dm<sup>-3</sup>; AL<sup>3+</sup>: 0 cmol<sub>c</sub>; Ca: 4,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg 2,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al: 2,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC: 10,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; e V (%): 74. A adubação foi realizada na linha de semeadura, com 9,6; 30 e 30 kg de N, P e K, respectivamente.

A semeadura mecanizada foi realizada em parcela de 2,65 m<sup>2</sup>, com a distribuição de 47 sementes por metro linear, em espaçamento de 0,17 m entre as fileiras. No estágio de duplo anel foi aplicado 100 kg ha<sup>-1</sup> nitrogênio. A aplicação do herbicida ocorreu no perfilhamento pleno das cultivares. Para tal, utilizou-se pulverizador costal de precisão, com pontas jato plano XR 11002, na altura de 50 cm acima do alvo com volume de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup>. As plantas daninhas, não controladas pelo herbicida foram capinadas.

As avaliações de FITO e MS foram realizadas utilizando a mesma metodologia descrita para os Experimentos I e II. O número de grãos por planta, foi determinado a partir da coleta de dez plantas, ao acaso, presentes nas três fileiras centrais da parcela, utilizando-se a média de cada repetição.

Para o peso de mil grãos, realizou-se a pesagem de 400 grãos de cada repetição, a partir deste resultado inferiu-se, o peso de mil grãos (RAS, 2009). Determinou-se a produtividade a partir da

colheita mecanizada na área de cada parcela. Em todas as avaliações considerou-se a umidade 13%.

Os resultados dos três experimentos foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Teste de Hartley). Em seguida, foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ) no esquema duplo fatorial. Os dados de MS foram transformados para valores percentuais, partindo-se do princípio de que as parcelas que permaneceram sem aplicação de herbicida possuem 100% de MS e as demais possuem percentuais desta matéria seca, em consequência da redução imposta pelo produto.

Foram ajustados modelos de regressão não lineares para as variáveis que apresentaram efeito de dose, utilizando-se, posteriormente, o programa Sigma Plot versão 12.5 para a composição das curvas de regressão. Para o ajuste da curva dos dados de fitotoxicidade e redução de matéria seca da parte aérea, utilizou-se o modelo logístico de três parâmetros, descrito por Streibig et al., 1993:

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

Onde:  $y$  = percentual de fitotoxicidade/ redução de MS (variável resposta);  $a$  = diferença entre o ponto máximo e o ponto mínimo da curva;  $b$  = declive da curva;  $x$  = dose do herbicida;  $x_0$  = ponto de inflexão da curva que corresponde 50 % da resposta da variável.

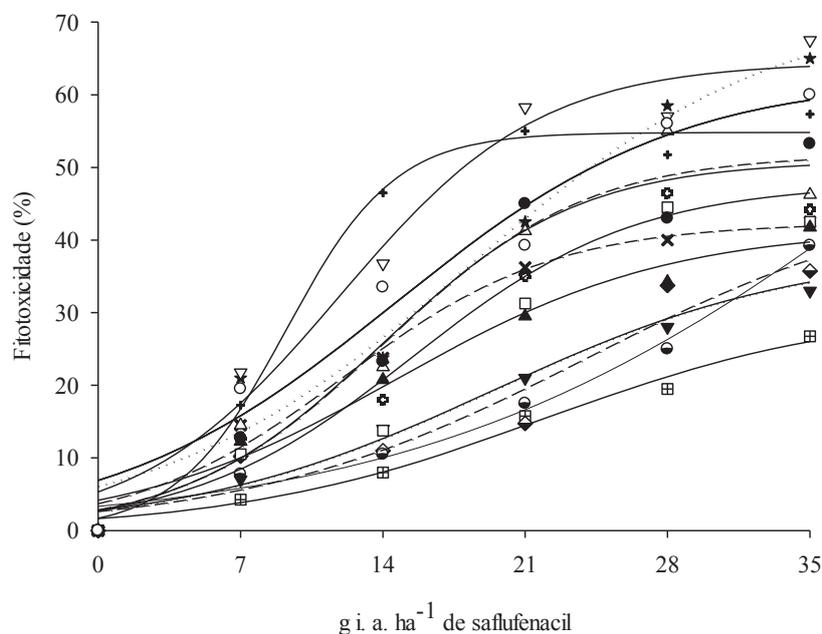
Para as variáveis em que não foi utilizado o modelo de regressão, empregou-se o teste de Tukey de comparação de médias com 5% de probabilidade de erro ( $p < 0,05$ ).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Experimento I, verificou-se, interação significativa para os fatores cultivares de trigo x dose, para a variável fitotoxicidade em todas as avaliações (Figura 1 a 4). Além disso, durante as avaliações, as cultivares de trigo apresentaram diferentes níveis de fitotoxicidade, em resposta a dose do herbicida, verificado nas curvas de dose-resposta.

Aos 3 DAA, a intensidade dos sintomas de fitointoxicação variou de 4 a 68 % conforme a cultivar e a dose utilizada. Nessa época, observou-se a maior taxa de fitotoxicidade (>45%) para as cultivares Tec Triunfo, BRS Marcante, Fundacep 52, ORS Vintecinco e Fundacep Raízes, para as doses a partir de 14 g i. a. ha<sup>-1</sup>, em relação às demais cultivares estudadas e a testemunha (Figura 1).

Durante esse período, todas as cultivares apresentaram manchas de coloração branca que evoluíram para cloróticas, sintoma típico de herbicidas inibidores de PROTOX quando aplicado em pós-emergência (MEROTTO JR et al., 2001). Esse sintoma é devido à ocorrência da peroxidação lipídica de membranas das células atingidas por esse produto (GROSSMANN et al., 2010).



- (-x-) Fund. Cristalino  $y = 42,39 / (1 + \exp(-(x-12,10)/5,15))$   $R^2 = 0,97$   
 (-■-) Tec 10  $y = 30,66 / (1 + \exp(x-(x-30,66)/8,63))$   $R^2 = 0,98$   
 (-▼-) Tec 03/2013  $y = 38,64 / (1 + \exp(-(x-38,64)/7,59))$   $R^2 = 0,99$   
 (-△-) Fund. Horizonte  $y = 51,83 / (1 + \exp(-(x-14,11)/4,95))$   $R^2 = 0,95$   
 (-◆-) Jadeíte 11  $y = 47,66 / (1 + \exp(-(x-24,12)/8,47))$   $R^2 = 0,93$   
 (-□-) Tec Vigore  $y = 46,34 / (1 + \exp(x-17,07)/5,25))$   $R^2 = 0,97$   
 (...\*...) BRS Marcante  $y = 72,73 / (1 + \exp(-(x-18,14)/7,61))$   $R^2 = 0,97$   
 (-●-) BRS Parrudo  $y = 96,48 / (1 + \exp(-(x-39,70)/11,92))$   $R^2 = 0,98$   
 (-▲-) TBIO Tibagi  $y = 41,64 / (1 + \exp(-(x-14,67)/6,68))$   $R^2 = 0,97$   
 (-▽-) Tec Triunfo  $y = 64,49 / (1 + \exp(-(x-11,86)/4,93))$   $R^2 = 0,97$   
 (-+ ) ORS Vintecinco  $y = 54,81 / (1 + \exp(-(x-9,18)/2,67))$   $R^2 = 0,99$   
 (-⊕-) Topázio  $y = 47,82 / (1 + \exp(x-15,46)/5,50))$   $R^2 = 0,97$   
 (-●-) Fundacep Raízes  $y = 50,95 / (1 + \exp(-(x-13,89)/4,87))$   $R^2 = 0,97$   
 (-○-) Fundacep 52  $y = 62,45 / (1 + \exp(-(x-14,56)/6,99))$   $R^2 = 0,96$

Figura 1- Fitotoxicidade do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo, aos 3 dias após a aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2014.

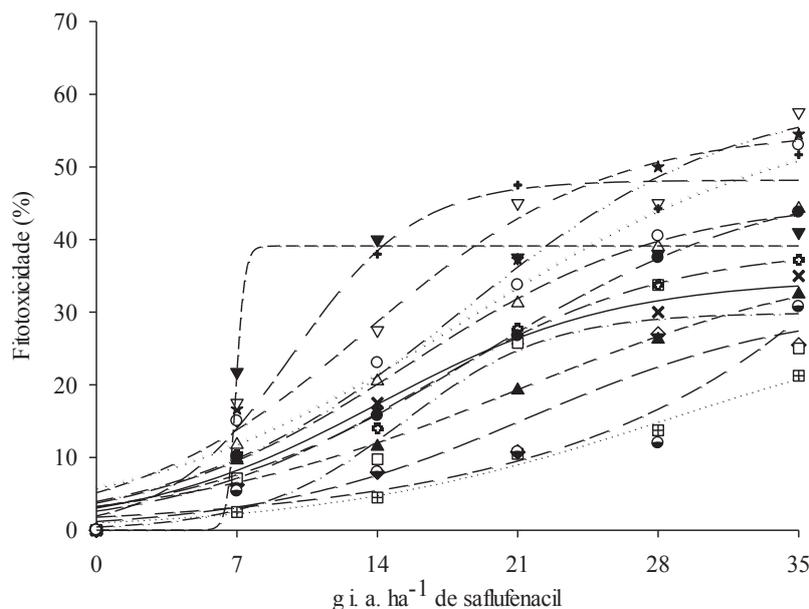
A menor fitotoxicidade foi observada para a cultivar Tec 10, com máximo sintoma de 20% para a dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>. Para as cultivares Jadeíte 11, Tec 03/2013 e BRS Parrudo, os sintomas foram similares, apresentando máxima fitotoxicidade em torno de 30 % na dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>.

Entretanto, para as cultivares TBIO Tibagi, Topázio, Tec Vigore e Fundacep 52, a resposta ao tratamento herbicida variou 28 a 35% de sintomas nas doses de 21 a 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>. Nesse período, para as demais cultivares, os sintomas observados variaram de 30 a 40% para a dose mais elevada. Embora, tenha existido injúrias perceptíveis em todas as cultivares, aos 3 DAA, não se observou morte das plantas devido aos sintomas de intoxicação.

Aos 7 DAA, houve interação significativa para os fatores cultivares de trigo x doses do herbicida saflufenacil. Observou-se, também redução da fitotoxicidade de todas as cultivares (Figura 2). Dentre as cultivares avaliadas, constatou-se os maiores sintomas de fitotoxicidade para Tec Triunfo, BRS Marcante, Fundacep 52 e ORS Vintecinco. Apesar disso, no entanto, os sintomas foram em torno de 12% menor que a fitotoxicidade aos 3 DAA (Figura 1).

Ainda, aos 7 DAA, em relação a dose, verificou-se aumento crescente da fitotoxicidade a partir da dose inicial para todas as cultivares, exceto, para a cultivar Tec 03/2013, que apresentou fitotoxicidade constante de 40% desde a dose de 14 g i. a. ha<sup>-1</sup>. Observou-se os menores sintomas de fitotoxicidade para cultivar Tec 10, em todas as doses, apresentando o máximo de sintomas na dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup> com 16%.

Já quanto as cultivares Jadeíte 11 e Tec Vigore, observou-se redução de 5% de fitotoxicidade quando utilizada a maior dose em relação aos sintomas observados nas doses de 21 e 28 g i. a. ha<sup>-1</sup>.



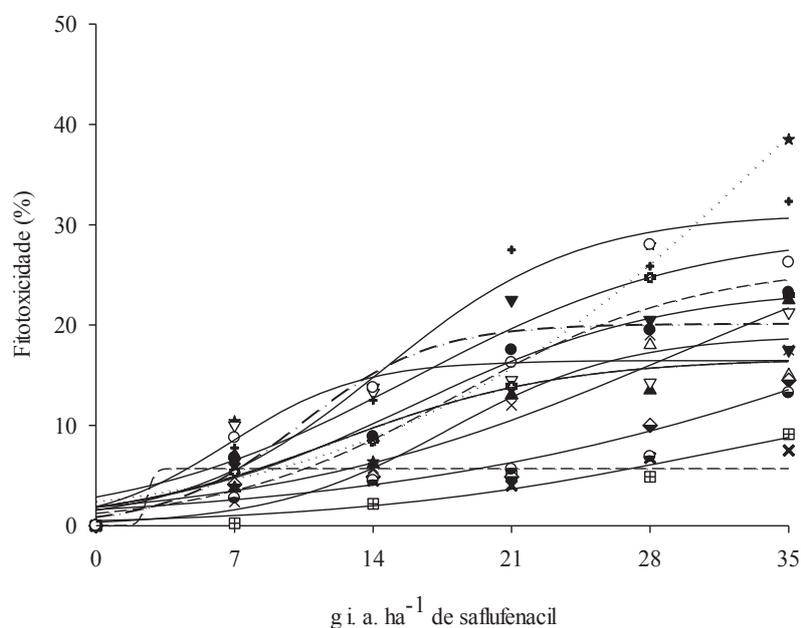
- (-x-) Fundacep Cristalino  $y = 34,63 / (1 + \exp(-(x-13,99)/5,99))$   $R^2 = 0,98$
- (-■-) Tec 10  $y = 30,68 / (1 + \exp(x-(x-28,45)/8,63))$   $R^2 = 0,98$
- (-▼-) Tec 03/2013  $y = 39,12 / (1 + \exp(-(x-6,95)/0,22))$   $R^2 = 0,99$
- (-△-) Fundacep Horizonte  $y = 45,49 / (1 + \exp(-(x-15,51)/6,43))$   $R^2 = 0,98$
- (-▽-) Jadeíte 11  $y = 31,14 / (1 + \exp(-(x-21,61)/6,71))$   $R^2 = 0,91$
- (-□-) Tec Vigore  $y = 29,92 / (1 + \exp(x-2,53)/3,64)$   $R^2 = 0,92$
- (-...-) BRS Marcante  $y = 60,22 / (1 + \exp(-(x-18,17)/6,84))$   $R^2 = 0,96$
- (-●-) BRS Parrudo  $y = 52431,03 / (1 + \exp(-(x-128,90)/12,53))$   $R^2 = 0,93$
- (-▲-) TBIO Tibagi  $y = 38,91 / (1 + \exp(-(x-21,12)/8,84))$   $R^2 = 0,97$
- (-▽-) Tec Triunfo  $y = 55,10 / (1 + \exp(-(x-13,51)/5,95))$   $R^2 = 0,96$
- (-+ ) ORS Vintecinco  $y = 54,81 / (1 + \exp(-(x-9,18)/2,67))$   $R^2 = 0,99$
- (-⊗-) Topázio  $y = 38,96 / (1 + \exp(-(x-16,17)/6,15))$   $R^2 = 0,98$
- (-●-) Fundacep Raízes  $y = 34,63 / (1 + \exp(-(x-29,28)/10,24))$   $R^2 = 0,98$
- (-○-) Fundacep 52  $y = 57,86 / (1 + \exp(-(x-18,37)/8,36))$   $R^2 = 0,96$

Figura 2- Fitotoxicidade do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo, aos 7 dias após a aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2014.

A cultivar BRS Parrudo até a dose de 28 g i. a. ha<sup>-1</sup> apresentou sintomas de fitotoxicidade inferiores a 10%, até a dose de 28 g i. a. ha<sup>-1</sup>, já, para a dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>, o sintoma foi de 25%. Nota-se que esta cultivar foi mais sensível ao herbicida quando utilizou-se a maior dose. A fitotoxicidade do saflufenacil reduziu para as cultivares Fundacep Raízes e Fundacep Horizonte, especialmente para as maiores doses, quando comparadas com a avaliação realizada aos 3 DAA (Figura 1). Entretanto, a cultivar Fundacep Horizonte, manteve-se constante, quando observada em avaliação anterior para dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>.

As cultivares Fundacep Cristalino, Topázio e TBIO Tibagi responderam de forma similar ao tratamento herbicida durante a segunda época da avaliação (Figura 2). Entretanto, para a dose de 21 g i. a. ha<sup>-1</sup> TBIO Tibagi apresentou 18% de fitotoxicidade, enquanto as outras apresentaram em torno de 27%. Aos 14 DAA, observou-se efeito da dose de saflufenacil sobre as cultivares de trigo. Estas cultivares apresentaram diferenças quanto à intensidade de sintomas nesse período (Figura 4). Também, percebeu-se a recuperação das plantas, em relação às avaliações anteriores (Figura 1 e 2).

Entre as cultivares, a máxima fitotoxicidade foi observada para a cultivar BRS Marcante, na dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup> com 38 % de sintomas, contudo, o uso de doses inferiores não ultrapassou de 30% de fitotoxicidade. Observou-se similaridade na resposta das cultivares ORS Vintecinco e Fundacep 52, exceto para a dose de 21 g i. a. ha<sup>-1</sup>, com 28 e 16 % de fitotoxicidade, respectivamente.



- (-x-) Fundacep Cristalino  $y = 5,70 / (1 + \exp(-(x-2,57)/0,19))$   $R^2 = 0,76$   
 (-■-) Tec 10  $y = 14,88 / (1 + \exp(x-(x-31,54)/9,39))$   $R^2 = 0,93$   
 (-▽-) Tec 03/2013  $y = 20,13 / (1 + \exp(-(x-10,29)/3,31))$   $R^2 = 0,95$   
 (-△-) Fundacep Horizonte  $y = 16,68 / (1 + \exp(-(x-12,03)/5,77))$   $R^2 = 0,92$   
 (-◇-) Jadeite 11  $y = 43,82 / (1 + \exp(-(x-46,41)/14,24))$   $R^2 = 0,93$   
 (-x-) Tec Vigore  $y = 20,13 / (1 + \exp(x-10,29)/3,31)$   $R^2 = 0,95$   
 (...\*...) BRS Marcante  $y = 77,55 / (1 + \exp(-(x-34,89)/10,19))$   $R^2 = 0,95$   
 (-●-) BRS Parrudo  $y = 5,70 / (1 + \exp(-(x-2,57)/0,19))$   $R^2 = 0,76$   
 (-▲-) TBIO Tibagi  $y = 34,13 / (1 + \exp(-(x-29,28)/10,24))$   $R^2 = 0,95$   
 (-▽-) Tec Triunfo  $y = 16,46 / (1 + \exp(-(x-6,74)/3,30))$   $R^2 = 0,84$   
 (-+) ORS Vintecinco  $y = 31,14 / (1 + \exp(-(x-14,53)/4,91))$   $R^2 = 0,96$   
 (-⊕-) Topázio  $y = 26,13 / (1 + \exp(-(x-18,33)/6,07))$   $R^2 = 0,96$   
 (-●-) Fundacep Raízes  $y = 34,23 / (1 + \exp(-(x-29,28)/10,24))$   $R^2 = 0,95$   
 (-○-) Fundacep 52  $y = 29,41 / (1 + \exp(-(x-15,99)/7,17))$   $R^2 = 0,93$

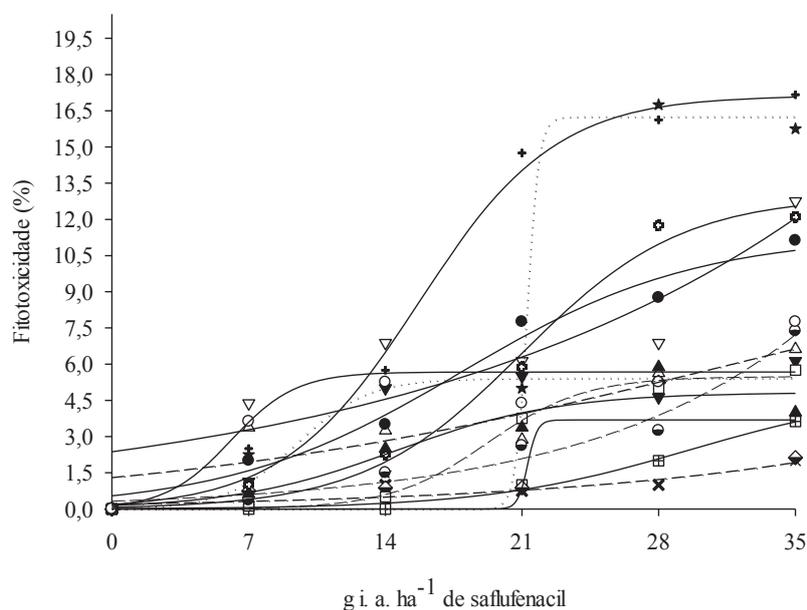
Figura 3- Fitotoxicidade do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo, aos 14 dias após a aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2014.

Nota-se que a ORS Vintecinco, apresentou maior fitotoxicidade ao herbicida saflufenacil, que a Fundacep 52. Por outro

lado, as cultivares Tec 10 e Fundacep Cristalino apresentaram comportamento similar entre as doses de saflufenacil, menos, para a dose de 7 g i. a. ha<sup>-1</sup>, com 5% de sintomas para a cultivar Fundacep Cristalino e 1% para a Tec 10. Para a cultivar BRS Parrudo a fitotoxicidade máxima encontrada foi de 40%, na dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>, mostrando ser uma cultivar com baixa capacidade de recuperação foliar dos sintomas causados por herbicidas de contato.

A recuperação das cultivares, a partir dos 14 DAA, pode ser explicada através dos efeitos fitotóxicos, observados para herbicidas de contato, em que ficam restritos aos locais de contato entre o produto e a planta, não havendo evolução dos efeitos com o desenvolvimento das plantas (ALVES et al., 2004). Aos 35 DAA, a fitotoxicidade observada nas cultivares de trigo diferiu em resposta as doses de saflufenacil, em função da interação entre os fatores. Entretanto, os sintomas apresentados foram baixos para todas as cultivares, excetos para BRS Marcante e ORS Vintecinco.

Para a BRS Marcante, os maiores sintomas foram verificados para a dose de 28 g i. a. ha<sup>-1</sup> com 17,5 %, já para a ORS Vintecinco na a dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup> com 16%. Nas doses acima de 21 g i. a. ha<sup>-1</sup>, constatou-se a presença de sintomas acima de 5% para a maioria das cultivares. Acredita-se, que tal comportamento seja em decorrência das plantas não metabolizarem o suficiente e substituir todo o tecido atingido pelo herbicida.



- (-x-) Fund. Cristalino  $y = 1013,25 / (1 + \exp(-(x-131,25)/15,41)) R^2 = 0,85$   
 (-■-) Tec 10  $y = 4,88 / (1 + \exp(x-(x-29,55)/5,22)) R^2 = 0,99$   
 (-v-) Tec 03/2013  $y = 5,42 / (1 + \exp(-(x-9,44)/1,82)) R^2 = 0,96$   
 (-△-) Fund. Horizonte  $y = 11,93 / (1 + \exp(-(x-11,93)/15,05)) R^2 = 0,81$   
 (-▽-) Jadeíte 11,  $y = 1077,66 / (1 + \exp(-(x-153,17)/18,86)) R^2 = 0,90$   
 (-x-) Tec Vigore  $y = 5,42 / (1 + \exp(x-9,45)/1,82)) R^2 = 0,96$   
 (-★-) BRS Marcante  $y = 16,25 / (1 + \exp(-(x-21,24)/0,30)) R^2 = 0,97$   
 (-●-) BRS Parrudo  $y = 5381,88 / (1 + \exp(-(x-109,54)/11,27)) R^2 = 0,97$   
 (-▲-) TBIO Tibagi  $y = 4,82 / (1 + \exp(-(x-14,52)/4,16)) R^2 = 0,89$   
 (-▽-) Tec Triunfo  $y = 3160,69 / (1 + \exp(-(x-154,52)/21,48)) R^2 = 0,81$   
 (-+ ) ORS Vintecinco  $y = 17,14 / (1 + \exp(-(x-15,73)/3,50)) R^2 = 0,99$   
 (-◆-) Topázio  $y = 12,95 / (1 + \exp(-(x-21,04)/4,06)) R^2 = 0,99$   
 (-●-) Fundacep Raízes  $y = 11,33 / (1 + \exp(-(x-17,88)/5,99)) R^2 = 0,80$   
 (-○-) Fundacep 52  $y = 5,67 / (1 + \exp(-(x-6,09)/1,666)) R^2 = 0,80$

Figura 4- Fitotoxicidade do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo, aos 35 dias após a aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2014.

Contudo, a rápida recuperação das cultivares aos sintomas do herbicida pode ter ocorrido devido ao aumento da taxa metabólica, facilitada por temperaturas altas durante o período de condução do experimento, observado a partir dos 14 DAA (Figura 4). Para as cultivares Jadeíte 11, Fundacep Cristalino, Tec 10, BRS Parrudo e TBIO Tibagi, os sintomas foram em torno de 2,5%, inferindo-se que estas cultivares apresentaram capacidade de recuperação dos sintomas do herbicida.

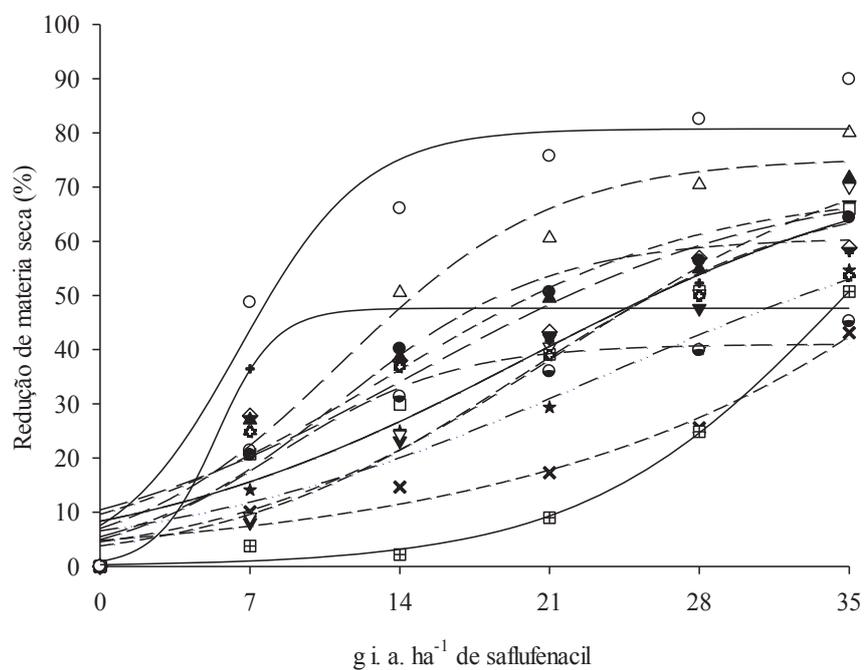
Para as cultivares Tec Triunfo, Topázio, Fundacep Raízes, Fundacep 52, Tec Vigore, BRS Parrudo, Fundacep Horizonte verificou-se fitotoxicidade abaixo de 10 %. Os resultados de fitotoxicidade, observados nas cultivares de trigo após aplicação de saflufenacil (Figura 2 a 5), demonstraram recuperação dos sintomas no decorrer dos dias após o tratamento. Nota-se que algumas cultivares tais como Tec Triunfo, BRS Marcante, Fundacep 52 e Fundacep Raízes que apresentaram os maiores sintomas na primeira avaliação, que, no entanto, demonstraram satisfatória capacidade em metabolizar o herbicida, quando comparado à evolução de outras cultivares com menor fitotoxicidade.

A severidade dos sintomas, pode estar relacionada à absorção de herbicidas, que é influenciada pelo local de deposição do produto (TREZZI et al., 2009). Em trabalho realizado com trigo de primavera, observaram resultados similares aos constatados nesse trabalho. Verificou-se que em pós-emergência, aos 3, 7, 14 e 28 dias, apresentou decréscimo na fitotoxicidade, 76, 60, 52 e 35% aos 3, 7, 14 e 28 dias, respectivamente, (SIKKEMA et al., 2008).

As variações de fitotoxicidade foram verificadas por Knezevic et al., (2010) ao estudar saflufenacil em pós-emergência, em trigo, observaram 5% de fitotoxicidade até a dose de 90 g i. a. ha<sup>-1</sup>, a partir dessa dose o dano foi para 30% na dose de 100 g i. a. ha<sup>-1</sup> com duas a três folhas. Em estudo realizado por Frihauf et al., (2010), encontraram diferentes níveis de fitotoxicidade em cultivares de trigo para os mesmos tratamentos. Segundo os autores, a diferença se deve a interceptação do herbicida em relação às folhas de trigo durante o momento de aplicação, pois a necrose tende a ser semelhante na comparação entre os mesmos tratamentos.

Para avaliação de matéria seca da parte aérea, aos 35 DAA, houve interação dos fatores cultivares de trigo x dose de herbicida (Figura 5). A maior redução do acúmulo de matéria seca (> 55%), ocorreu para as cultivares Fundacep 52, TBIO Tibagi e Fundacep Horizonte. O incremento na redução dessas cultivares ocorreu a partir da dose de 7 g i. a. ha<sup>-1</sup> (Figura 5). Por outro lado, as cultivares Fundacep Cristalino, Tec 10, apresentaram pequena redução de MS após tratamento de herbicida, em torno de 10%, para a dose 21 g i. a. ha<sup>-1</sup>.

Comportamento distinto foi verificado para a cultivar ORS Vintecinco, que apresentou-se menos sensível ao aumento da dose, a partir da dose de 14 g i. a. ha<sup>-1</sup>, mostrando ser pouco sensível a aplicação de saflufenacil. No intervalo de dose de 14 a 35 g i. a. ha<sup>-1</sup> observou-se que, as reduções de MS entre as cultivares de trigo eram maiores sempre que se aumentava a dose em comparação à testemunha.



- (-x-) Fund. Cristalino  $y = 10539,37 / (1 + \exp(-(x-123,43)/16,05))$   $R^2 = 0,96$   
 (-■-) Tec 10  $y = 99,19 / (1 + \exp(x-(x-34,71)/6,06))$   $R^2 = 0,99$   
 (-▽-) Tec 03/2013  $y = 70,13 / (1 + \exp(-(x-19,62)/6,85))$   $R^2 = 0,97$   
 (-△-) Fund. Horizonte  $y = 74,40 / (1 + \exp(-(x-11,30)/4,96))$   $R^2 = 0,97$   
 (-◇-) Jadeíte 11  $y = 71,53 / (1 + \exp(-(x-14,91)/8,38))$   $R^2 = 0,92$   
 (-□-) Tec Vigore  $y = 76,98 / (1 + \exp(x-19,97)/9,47))$   $R^2 = 0,95$   
 (-★-) BRS Marcante  $y = 70,61 / (1 + \exp(-(x-23,56)/10,34))$   $R^2 = 0,95$   
 (-●-) BRS Parrudo  $y = 70,61 / (1 + \exp(-(x-25,56)/10,34))$   $R^2 = 0,95$   
 (-▲-) TBIO Tibagi  $y = 69,56 / (1 + \exp(-(x-13,36)/7,30))$   $R^2 = 0,93$   
 (-▽-) Tec Triunfo  $y = 70,13 / (1 + \exp(-(x-19,62)/8,85))$   $R^2 = 0,97$   
 (-+ ) ORS Vintecincio  $y = 47,67 / (1 + \exp(-(x-19,62)/6,85))$   $R^2 = 0,97$   
 (-⊗-) Topázio  $y = 76,98 / (1 + \exp(-(x-19,97)/9,47))$   $R^2 = 0,95$   
 (-●-) Fundacep Raízes  $y = 60,70 / (1 + \exp(-(x-11,19)/4,84))$   $R^2 = 0,98$   
 (-○-) Fundacep 52  $y = 80,75 / (1 + \exp(-(x-6,53)/2,88))$   $R^2 = 0,9$

Figura 5- Redução de matéria seca de parte aérea de cultivares de trigo para doses do herbicida saflufenacil aos 35 dias após aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo/RS, 2014.

As cultivares que apresentaram essa resposta foram: Jadeíte 11, Tec Vigore, Tec Triunfo, Tec 03/2013, Topázio e Fundacep Raízes. No entanto, para a maior dose, as cultivares Tec Vigore e Topázio apresentaram 57 e 65 % de redução de MS. Já BRS Marcante, BRS Parrudo apresentaram uma redução máxima de 40% de matéria seca para a dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>. Os resultados de MS obtidos permitem inferir que as cultivares apresentaram redução significativa de MS em relação a testemunha, exceto, as cultivares Tec10, Fundacep Cristalino até a dose de 28 g i. a. ha<sup>-1</sup>, com decréscimo máximo em torno de 20%.

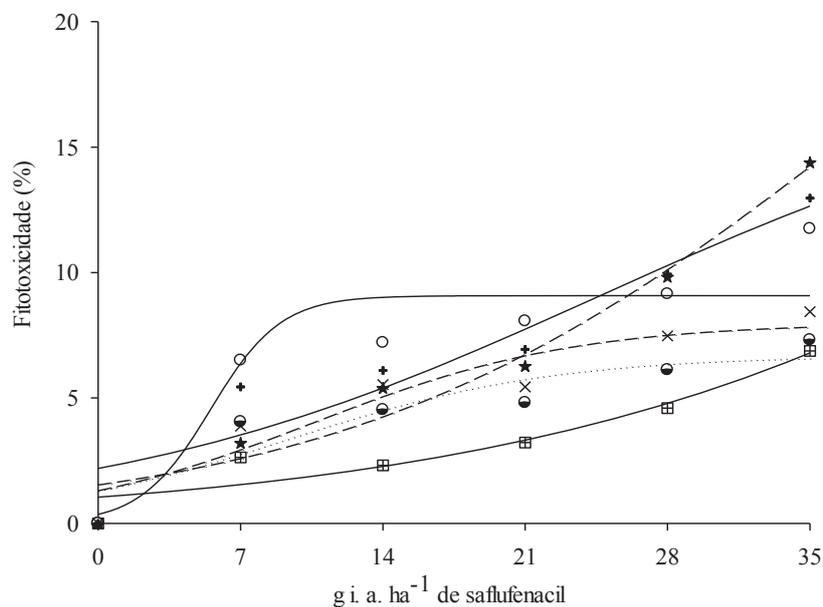
Algumas cultivares de trigo são mais sensíveis á herbicidas de pós-emergência, inclusive para as recomendadas à cultura, cuja a lesão varia com herbicida, variedade e estágio de crescimento (KLEIN et al., 2006). Com o sorgo sacarino verificou-se, variabilidade na sensibilidade, sendo que CVSW 80147 foi mais tolerante que o CVSW 80007, tanto em aplicações de pré e pós-emergência, com saflufenacil. Ainda no mesmo trabalho foi analisado, o acúmulo de matéria seca de folhas de sorgo e observou-se redução de 4 g na dose de 36,7 g i. a ha<sup>-1</sup> para o híbrido 80147 CVSW, já o híbrido CVSW 80007 foi de apenas 3 g (CORREIA & GOMES, 2015).

Para as variáveis de fitotoxicidade e redução de MS, observou-se variabilidade no comportamento das cultivares com relação às doses de saflufenacil. Quanto a isso, verificou-se recuperação da fitotoxicidade para o maior número de cultivares a partir dos 35 DAA, as quais apresentaram 16,5% de sintoma para a dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>. Todavia, aos 35 DAA, a redução de MS foi

elevada para todas as cultivares, exceto para a Fundacep Cristalino e Tec 10, até a dose de 28 g i. a. ha<sup>-1</sup>. Os resultados dessas variáveis, sugerem o uso de saflufenacil com cautela, sendo necessário mais estudos, uma vez que os sintomas foram significativos.

Para o Experimento II, verificou-se interação dos fatores cultivares de trigo x doses do herbicida, para a fitotoxicidade aos 3; 7 e 14 DAA (Figuras 6 a 8). Apesar disso, a fitotoxicidade das cultivares avaliadas, mostrou-se inferior as obtidas no Experimento I (Figuras 1 a 5). Em avaliação realizada aos 3 DAA, constatou-se para as cultivares de trigo a maior fitotoxicidade, em relação às avaliações posteriores, independente da dose do herbicida (Figura 6). Verificou-se, ainda, aumento linear dos sintomas com o aumento da dose. Também pode-se observar que a máxima fitotoxicidade foi de 13 e 15% para as cultivares ORS Vintecinco e BRS Marcante, na dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>.

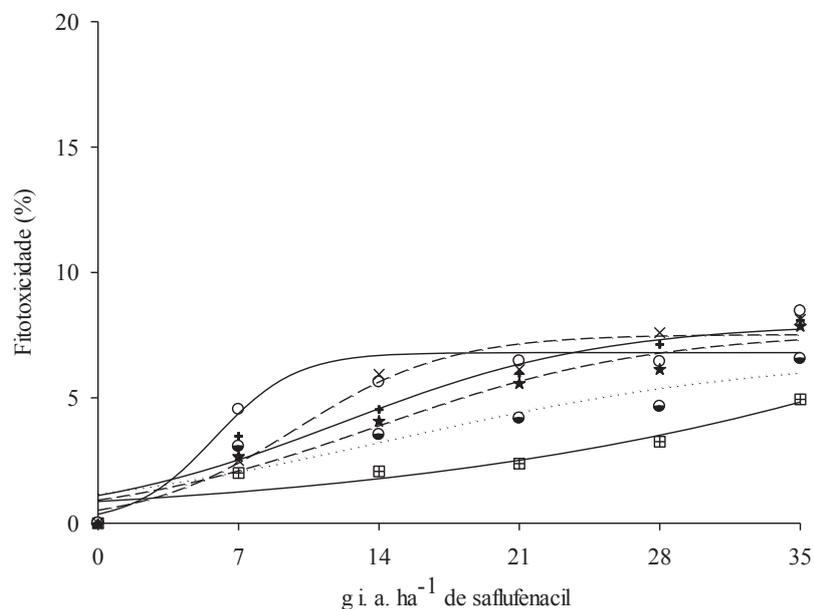
Por outro lado, as cultivares Jadeíte 11 e BRS Parrudo apresentaram pequeno aumento de fitotoxicidade com o uso de doses crescentes até 28 g i. a. ha<sup>-1</sup>, em torno de 8 e 6% respectivamente. Já, para a dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup> a fitotoxicidade foi maior, alcançando 12 % e 7 % para Fundacep 52 e BRS Parrudo. Embora, tenha ocorrido resposta similares, o nível de fitotoxicidade entre as cultivares foi diferente, em torno de 4% para BRS Parrudo e 8% para a Fundacep 52. Os menores sintomas de herbicida foram observados para a cultivar Tec 10, com máximo de 6% para a dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>.



- (—■—) Tec 10  $y = 44,18 / (1 + \exp(-(x-64,60)/17,35))$   $R^2 = 0,91$   
 (—○—) Fund. 52  $y = 9,08 / (1 + \exp(-(x-5,52)/1,73))$   $R^2 = 0,85$   
 (—★—) (BRS Marcante  $y = 31,13 / (1 + \exp(-(x-37,18)/12,55))$   $R^2 = 0,96$   
 (—●—) BRS Parrudo  $y = 6,70 / (1 + \exp(-(x-9,29)/6,52))$   $R^2 = 0,84$   
 (—x—) Jadeíte 11  $y = 7,98 / (1 + \exp(-(x-10,54)/(2,01)))$   $R^2 = 0,83$

Figura 6- Fitotoxicidade do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo, aos 3 dias após a aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2015.

Para a avaliação de fitotoxicidade aos 7 DAA, observou-se semelhança no comportamento das cultivares Fundacep 52, Jadeíte 11, com fitotoxicidade constante de 7 % a partir da dose de 14 g i. a. ha<sup>-1</sup> (Figura 7). Verificou-se a máxima fitotoxicidade 8 % para as cultivares BRS Marcante e ORS Vintecinco na dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>.

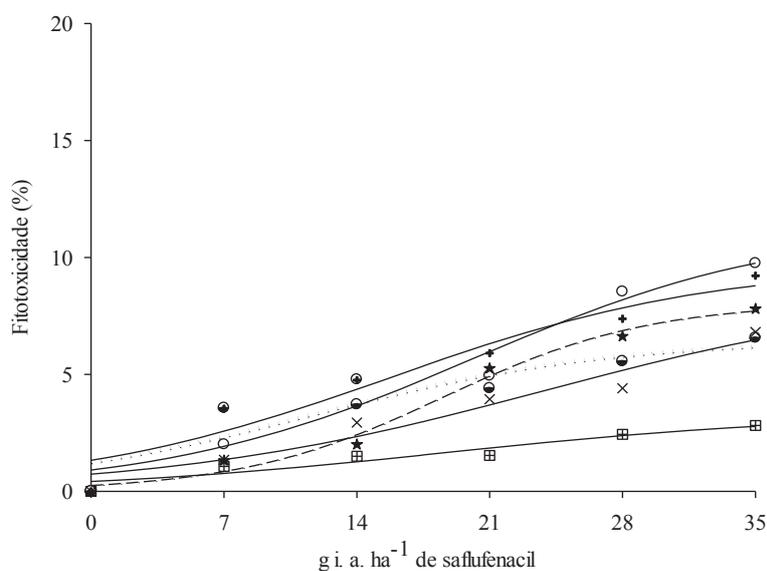


- (□) Tec 10  $y=28,65/(1+\exp(-(x-64,79)/18,71))$   $R^2=0,89$   
 (○) Fundacep 52  $y=6,80/(1+\exp(-(x-5,81)/2,01))$   $R^2=0,90$   
 (★) BRS Marcante  $y=7,66/(1+\exp(-(x-13,81)/6,94))$   $R^2=0,95$   
 (●) BRS Parrudo  $y=6,71/(1+\exp(-(x-14,70)/9,49))$   $R^2=0,86$   
 (x) Jadeíte 11  $y=6,80/(1+\exp(-(x-5,81)/(2,01)))$   $R^2=0,90$   
 (★) ORS Vintecincos  $y=7,79/(1+\exp(-(x-12,06/6,59)))$   $R^2=0,94$

Figura 7- Fitotoxicidade do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo, aos 7 dias após a aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2015.

Todavia, a menor incidência de sintomas do herbicida foram observados para as cultivares BRS Parrudo e Tec 10 apresentando 5% de máxima fitotoxicidade para a maior dose. Esses resultados indicam que estas cultivares apresentam possibilidade para o uso de saflufenacil em trigo. Além disso, as cultivares Tec 10 e BRS Parrudo apresentaram comportamento similar nos experimentos I e II.

Aos 14 DAA, a fitotoxicidade observada dentre as cultivares de trigo foi similar, exceto para a cultivar Tec 10 (Figura 8). A cultivar Tec 10 apresentou os menores índices de fitotoxicidade em todas as doses, em relação as demais cultivares avaliadas nessa época, com máximo de 3% para a maior dose.



(—■—) Tec 10  $y = 3,28 / (1 + \exp(-(x-18,54)/9,69))$   $R^2 = 0,91$   
 (—○—) Fundacep 52  $y = 11,38 / (1 + \exp(-(x-20,20)/8,27))$   $R^2 = 0,95$   
 (—★—) BRS Marcante  $y = 8,07 / (1 + \exp(-(x-18,59)/5,40))$   $R^2 = 0,99$   
 (—●—) BRS Parrudo  $y = 6,47 / (1 + \exp(-(x-11,59)/7,88))$   $R^2 = 0,86$   
 (—x—) Jadeíte 11  $y = 6,81 / (1 + \exp(-(x-17,28)/(-5,36)))$   $R^2 = 0,94$   
 (—+—) ORS Vintecinco  $y = 11,38 / (1 + \exp(-(x-20,20)/6,59))$   $R^2 = 0,94$

Figura 8- Fitotoxicidade do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo, aos 14 dias após a aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2015.

Para as cultivares Jadeíte 11 e BRS Marcante, os sintomas de saflufenacil foram inferiores a 2% até a dose de 14 g i. a. ha<sup>-1</sup>. A

partir dessa dose, houve um pequeno acréscimo de fitotoxicidade, atingindo 5% para a dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>, sendo que o efeito do herbicida foi limitado a pontos nas folhas.

Já nas cultivares Fundacep 52 e ORS Vintecinco, verificou-se similaridade e maior incidência de sintomas do herbicida, em especial para as doses de 28 e 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>, com 8% de fitotoxicidade. Quanto a cultivar BRS Parrudo, observou-se a mesma fitotoxicidade nas doses de 7, 14 e 21 g i. a. ha<sup>-1</sup>, com 3,5%. Houve recuperação de 4 e 4,5% para as doses de 28 e 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>, demonstrando melhora no tecido lesionado pelo herbicida saflufenacil.

Em avaliação realizada aos 35 DAA, verificou-se somente efeito da dose do herbicida saflufenacil. Assim as cultivares de trigo não diferiram entre si dentro de cada dose. Contudo, o aumento da dose, proporcionou aumento na incidência de sintomas. Aos 35 DAA a fitotoxicidade encontrada foi inferior a 5%, permitindo inferir que as cultivares de trigo apresentaram capacidade de recuperação uniforme do sintoma visual causado pelo herbicida. Esses resultados indicam que o desenvolvimento das cultivares de trigo a partir dos 14 DAA não sofre interferência do tratamento herbicida. Assim, o herbicida foi eliminado por meio da inserção de novas folhas e senescência de folhas com sintomas, proporcionando total recuperação das plantas.

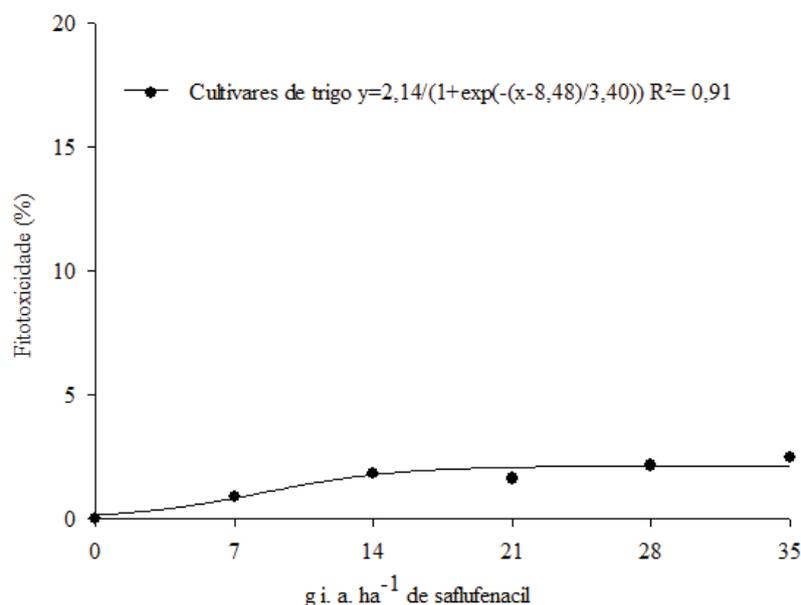
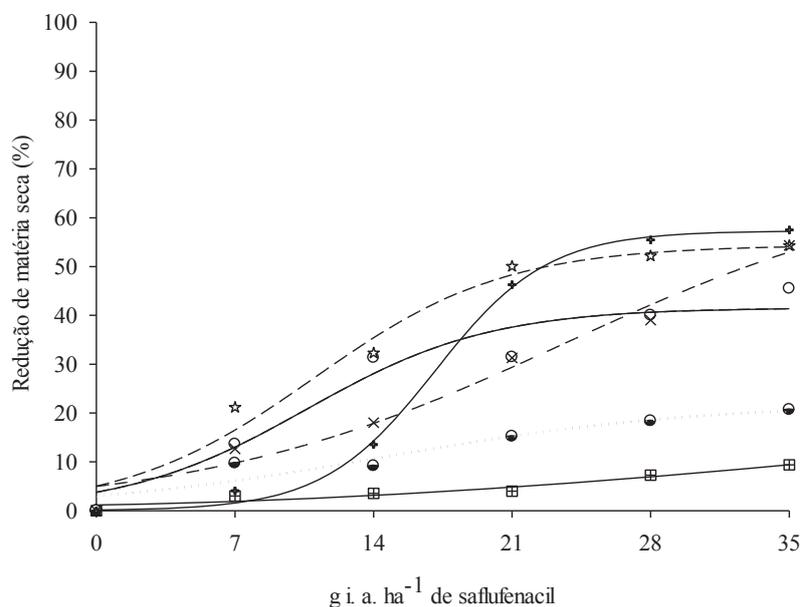


Figura 9- Fitotoxicidade do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo, aos 35 dias após a aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2015.

Em trabalho realizado com trigo, a necrose foliar observada foi considerado um efeito temporário, sem maiores efeitos negativos a cultura. Segundo, o autor a variedade de trigo (trigo de primavera vs. trigo de inverno), adjuvantes, fase de crescimento na aplicação e condições ambientais são fatores que podem contribuir para as diferenças observadas na tolerância de trigo para saflufenacil (FRIHAUF et al., 2010). O fato das plantas logo restabelecerem a área foliar está relacionado ao uso de herbicidas de contato. Isto ocorre, quando após aplicação do herbicida, apesar da planta apresentar injúrias, há emissão de novas folhas (SOUZA, 2014).

Com relação a redução de MS aos 42 DAA, observou-se interação significativa entre os fatores cultivares x dose de saflufenacil (Figura 9). O uso de doses crescentes de saflufeancil reduziu a matéria seca de cultivares de trigo, atingindo 50% de redução para a maior dose avaliada (35 g i. a. ha<sup>-1</sup>), o mesmo ocorreu com ORS Vintecinco, BRS Marcante e Jadeíte 11. A cultivar Jadeíte 11 apresentou maior sensibilidade ao saflufenacil, reduzindo cerca de 10% de MS para cada intervalo de dose, a partir da dose de 14 g i. a. ha<sup>-1</sup>, em relação a testemunha. O elevado decréscimo de MS sugere, que a cultivar Jadeíte 11, não é tolerante a utilização do herbicida em pós - emergência.

Resposta diferente foi encontrada para as cultivares BRS Parrudo e Tec 10, cujo aumento da dose, não resultou em maiores reduções de MS. Isso indica menor sensibilidade à aplicação de saflufenacil. No entanto, a cultivar Fundacep 52, mostrou que o incremento nas doses do herbicida resultou em 35% de redução de MS.



- (—■—) Tec 10  $y = 57,31 / (1 + \exp(-(x-17,11)/2,83))$ ,  $R^2 = 0,99$   
 (—●—) Fundacep 52  $y = 4,56 / (1 + \exp(-(x-41,56)/4,61))$   $R^2 = 0,94$   
 (—★—) BRS Marcante  $y = 54,92 / (1 + \exp(-(x-11,01)/4,82))$   $R^2 = 0,97$ ,  
 (—●—) BRS Parrudo  $y = 21,26 / (1 + \exp(-(x-14,52)/7,91))$   $R^2 = 0,91$ ,  
 (—×—) Jadeíte 11  $y = 68,89 / (1 + \exp(-(x-23,76)/(9,31)))$   $R^2 = 0,97$ ,  
 (—★—) ORS Vintecinco  $y = 57,31 / (1 + \exp(-(x-17,11)/2,83))$   $R^2 =$

Figura 10- Redução de matéria seca da parte aérea de cultivares de trigo submetida à doses do herbicida saflufenacil, aos 35 dias após aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2015.

Durante a condução do Experimento II, verificou-se, maior tolerância das cultivares de trigo tanto para a variável fitotoxicidade quanto redução de MS após aplicação de saflufenacil, em relação ao Experimento I (Figura 7 a 11). Essa resposta, pode ter sido em decorrência da interação das cultivares com o ambiente, uma vez que tanto o tratamento herbicida quanto as cultivares, foram os

mesmos para ambos os experimentos. Contudo, os experimentos foram conduzidos em diferentes épocas, sendo o Experimento II, conduzido na época indicada de semeadura para a cultura. Além disso, a variabilidade da resposta das cultivares de trigo ao herbicida saflufenacil, deve-se, possivelmente, às variações na genética dos diferentes materiais.

No Experimento III, realizado no campo, para a variável fitotoxicidade houve interação significativa entre cultivar x dose de saflufenacil para as avaliações realizadas as 3, 7 e 14 DAA (Figura, 11 a 13). Na primeira avaliação, aos 3 DAA, verificou-se aumento crescente de sintomas para as cultivares, devido ao acréscimo da dose (Figura 11). De outro lado, as cultivares BRS Parrudo e Fundacep 52 apresentaram diferentes níveis de fitotoxicidade quando submetidas a doses crescentes de saflufenacil. Nesse sentido, a cultivar Fundacep 52, apresentou maior fitotoxicidade à aplicação de saflufenacil.

Dentro do intervalo das doses em estudo, observou-se nível de intoxicação máximo de 14% aos 3 DAA para a cultivar Fundacep 52 (Figura 10).

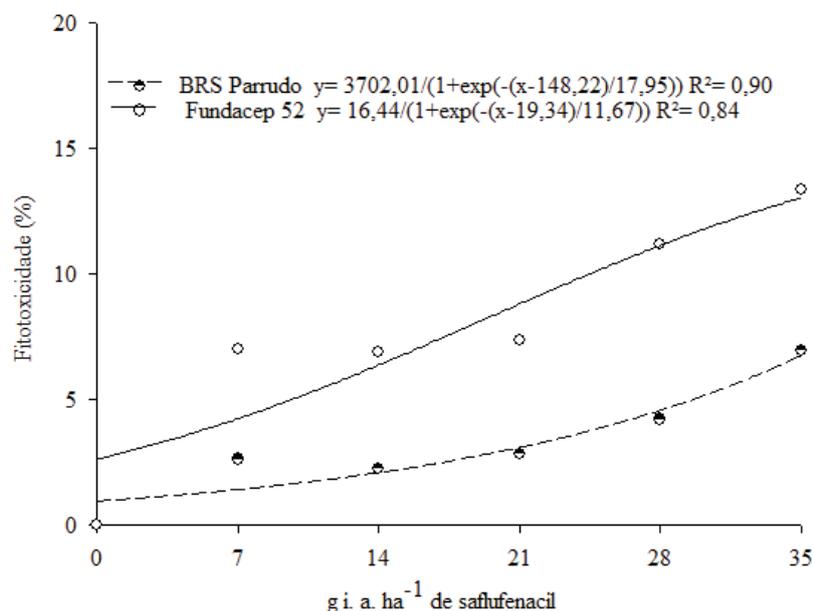


Figura 11- Fitotoxidade de cultivares de trigo submetida á doses do herbicida saflufenacil, aos 3 DAA, FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2015.

Pode-se verificar, que a cultivar BRS Parrudo mostrou-se menos sensível ao efeito do herbicida, com níveis de FITO inferiores ao verificado para Fundacep 52 em todas as avaliações. Para a cultivar BRS Parrudo, verificou-se a mesma resposta para as doses 7, 14 e 21 g i. a. ha<sup>-1</sup>, com 3% de fitotoxidade. A ausência de diferença nos níveis de fitotoxidade, no intervalo citado acima, pode ter sido em decorrência da característica da inserção das folhas, que são eretas, o que pode ter limitado a deposição do produto em maior quantidade nas folhas superiores.

Aos 7 DAA, verificou-se efeito do tratamento herbicida sobre as cultivares BRS Parrudo e Fundacep 52. Da análise, identificou-se redução dos sintomas de saflufenacil para as cultivares, em relação à avaliação dos 3 DAA (Figura 12). Para a cultivar Fundacep 52, observou-se decréscimo de 7% dos sintomas na dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup> (Figura 13).

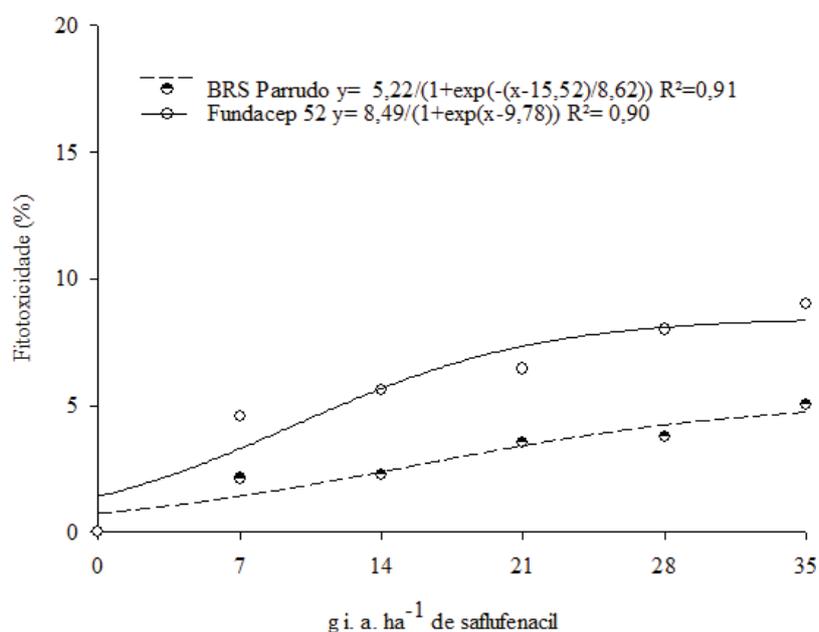


Figura 12- Fitotoxicidade de cultivares de trigo submetida à doses do herbicida saflufenacil, aos 7 DAA. FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2015.

Deve-se frisar que a avaliação feita, aos 3 DAA, havia apresentado a maior fitotoxicidade ao herbicida. No intervalo de dose de 7 a 21 g i. a. ha<sup>-1</sup>, o comportamento foi similar, exceto para a dose

de 28 g i. a. ha<sup>-1</sup>, que apresentou a menor redução dos sintomas, próximo a 2%. Em avaliação realizada aos 14 DAA, verificou-se efeito do herbicida sobre as cultivares de trigo, em decorrência da interação entre os fatores. Entretanto, constatou-se recuperação dos sintomas de fitotoxicidade com máxima de 7% para a dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup> para a cultivar Fundacep 52.

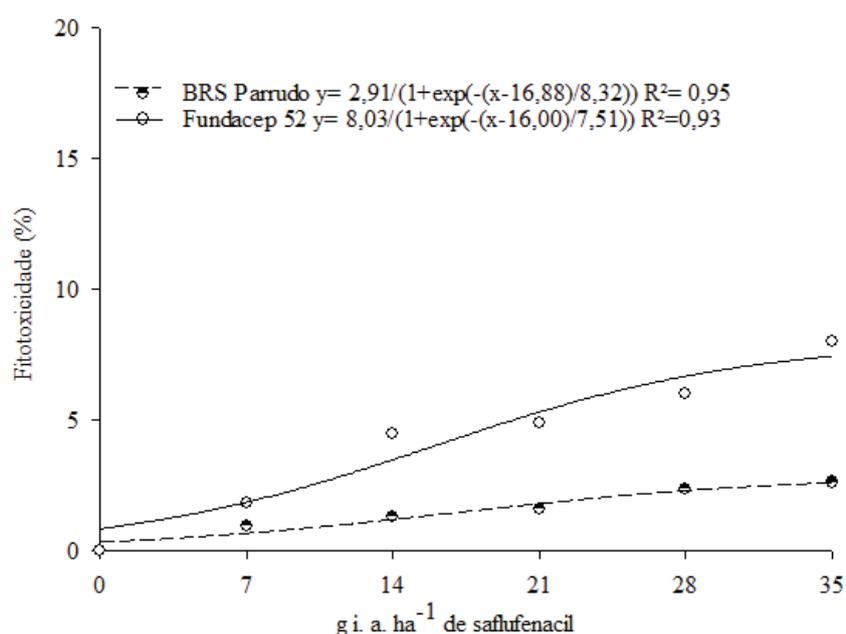


Figura 13- Fitotoxicidade de cultivares de trigo submetida às doses do herbicida saflufenacil, aos 14 DAA. FAMV-UPF, Passo Fundo-RS, 2015.

Contudo, essa cultivar apresentou 5% de fitotoxicidade para as doses de 14, 21 e 28 g i. a. ha<sup>-1</sup>, demonstrando ser uma cultivar

com elevada inserção de folhas e metabolização do produto. Para a dose de 7 g i. a. ha<sup>-1</sup>, a fitotoxicidade foi de 2%, demonstrando ter limitado impacto sobre a cultura nessa dose. A cultivar BRS Parrudo exibiu os menores sintomas, independente da dose utilizada, com fitotoxicidade máxima de 3% para a dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>. Constatou-se que a BRS Parrudo é menos sensível ao tratamento com saflufenacil, quando comparado a Fundacep 52. Verificou-se, a necessidade de que a cultura seja conduzida com adequadas práticas de manejo, para que possibilite a recuperação foliar. Em avaliação realizada aos 35 DAA, observou-se ausência de sintomas visuais em ambas as cultivares, indicando a possibilidade de utilizar este herbicida em pós-emergência nas doses estudadas.

Em estudo realizado por Frihauf et al., (2010), a necrose foliar foi observada a partir de 1 DAA, atingindo o máximo de fitotoxicidade de 5 a 7 DAA. Esta fitotoxicidade aumentou à medida que a taxa de saflufenacil passou de 13 a 50 g ha<sup>-1</sup>. Estes resultados são verificados em trabalhos realizados com herbicidas de contato que apresentam pouca ou nenhuma mobilidade na planta, acumulando-se nas áreas pulverizadas, em decorrência disso causa necrose nos tecidos próximos, devido à alta concentração da molécula nestes locais (OLIVEIRA JR et al., 2011).

Resultados semelhantes obtidos na cultura do arroz irrigado, indicam que o saflufenacil, aplicado em lavouras estabelecidas na época recomendada para a cultura, é seletivo. Isso foi constatado já que houve recuperação plena das plantas dias após a aplicação do herbicida não diferindo da testemunha, podendo ser utilizado na faixa das doses de registro para controle de plantas

daninhas na cultura do arroz (CAMARGO et al., 2012). Em trabalho realizado por Dalazen et al., (2015) avaliando-se a seletividade de aveia branca e aveia comum e azevém, verificou que o herbicida saflufenacil não apresentou qualquer efeito fitotóxico às culturas, nas doses de 35 e 70 g i. a. ha<sup>-1</sup>.

Em avaliação de MS realizada aos 42 DAA, não houve interação entre os fatores cultivar e dose de saflufenacil (dados não apresentados). Nesse período, não foi constatado diferença de MS em relação a testemunha, para as cultivares. Esses resultados sugerem que saflufenacil apresenta potencial para uso em pós-emergência em cultivares de trigo, por não interferir no acúmulo de MS e/ ou recuperação dos sintomas, dias após ao tratamento com herbicida.

Com relação aos componentes do rendimento das cultivares de trigo, os resultados encontrados entre as variáveis diferiram entre si para o tratamento herbicida. Houve interação significativa dos fatores cultivares de trigo x dose de saflufenacil para o número de grãos e produtividade. Verificou-se, também, que houve ausência de efeito para a variável massa de mil grãos (Tabela 1).

O número de grãos por planta, não sofreu efeito do tratamento herbicida para as cultivares avaliadas. O rendimento de grãos não foi influenciado pelas doses do herbicida, no entanto, diferiu entre as cultivares. Para a BRS Parrudo, foi obtido o maior rendimento com 1774,8 kg ha<sup>-1</sup>, seguida da testemunha com 1798,6 kg ha<sup>-1</sup>. Além disso, a BRS Parrudo apresentou maior variabilidade entre as doses utilizadas, mostrando maior sensibilidade na dose de 21 g i. a. ha<sup>-1</sup>.

Tabela 1- Componentes do rendimento e rendimento de grãos de cultivares de trigo BRS Parrudo e Fundacep 52, em resposta à dose do herbicida saflufenacil. Passo Fundo, RS, 2015

Dose de saflufenacil (g i. a.)	Número de grãos planta/planta <sup>1</sup>		Massa de mil grãos (g) <sup>2</sup>		Rendimento de grãos (kg.ha <sup>-1</sup> )	
	BRS Parrudo	Fundacep 52	BRS Parrudo	Fundacep 52	BRS Parrudo	Fundacep 52
0	68 aA	29 bB	27 <sup>ns</sup>	26 <sup>ns</sup>	1799 abA	1641bA
10	41 cA	36 bA	30	27	1775 abA	1538 bA
20	37 cB	45 aA	30	34	1673 abA	1769 aA
30	37 cB	53 aA	28	25	1472 cB	1604 bA
40	57 bA	43 aB	27	28	1688 bA	1533 bA
50	53 bA	46 aA	28	25	1716 abA	1467 bB
	49 A	42 A	28	27	1559 B	1644 A
CV(%)	17,2		14,7		14,4	

<sup>1</sup>(Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey  $p \leq 0,05$ ).

Em decorrência da menor variabilidade entre as doses estudadas para Fundacep 52, esta apresentou maior média geral entre os tratamentos, sendo menos tolerante para a dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>, com redução de 174 kg ha<sup>-1</sup> em relação à testemunha. No estágio de antese, teve-se a presença de temperaturas mais elevadas, que pode ter resultado em menor rendimento de grão, influenciando no menor peso de grãos em todos os tratamentos e não na redução do número de grãos por unidade de área (WARDLAW & MONCUR, 1995). Resultados similares aos encontrados nesse estudo foram relatados por Montgomery, (2014), na cultura do arroz no estágio de duas folhas após a aplicação de saflufenacil em com 25 g i. a. ha<sup>-1</sup> o rendimento

não foi afetado. Trabalho realizado com a cultura do arroz, no estágio de 4 a 6 folhas, o dano causado por saflufenacil variou de 9 a 83%.

No entanto, os tratamentos com 12,5; 18,75 e 25 g i. a. ha<sup>-1</sup> de saflufenacil, não comprometeram o rendimento de grãos (CAMARGO et al., 2012). Com relação aos resultados, quanto ao peso de mil grãos, o tratamento herbicida, não influenciou a resposta das cultivares, demonstrando ação independente dos fatores para essa variável. Nota-se que os resultados obtidos no Experimento III, foram distintos do Experimento I e II, por consequência da menor ocorrência de sintomas causados por saflufenacil para todas as variáveis estudadas. Dentre as variáveis analisadas, a manutenção dos níveis de MS, como verificado para as cultivares BRS Parrudo e Fundacep 52, indica que o herbicida pode ser utilizado para o controle de plantas daninhas em pós emergência. Contudo, são considerados seletivos herbicidas causadores de injúrias moderadas, mesmo que haja redução de crescimento definitivo ou lenta recuperação, mas os efeitos promovem apenas pequenas reduções na produtividade (SBCPD, 1995).

Levando em consideração os resultados obtidos para os três experimentos, nota-se variabilidade na resposta entre as cultivares, para aplicação de saflufenacil. Essa variação observada, permite utilizar algumas cultivares, que apresentaram os menores sintomas do herbicida em determinada faixa de dose. Essas cultivares, podem ser utilizadas em programas de melhoramento genético, ou diretamente utilizadas para futuros ensaios com saflufenacil com o objetivo de verificar, rendimento em relação a dose. Nesse sentido, o herbicida saflufenacil pode ser considerado uma alternativa para o

controle de plantas daninhas Magnoliopsidas durante o cultivo de trigo, por não apresentar danos elevados à cultura do trigo.

#### 4 CONCLUSÕES

O herbicida saflufenacil pode ser utilizado em pós-emergência para as cultivares Tec 10, Tec 03/2013, BRS Parrudo, Fundacep Cristalino, Fundacep 52, e Jadeíte 11, para o intervalo de doses de 7 a 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>.

Quanto as cultivares Tec Triunfo, BRS Marcante, Fundacep Raízes e ORS Vintecinco, verifica-se que apresentam elevadas perdas, em fitotoxicidade.

O uso de saflufenacil em pós emergência interfere negativamente no acúmulo de matéria seca para as cultivares: Triunfo, Tibagi, Fundacep Horizonte, Vigore e Topázio.

## CAPÍTULO II

### ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE CULTIVARES DE TRIGO SUBMETIDAS À APLICAÇÃO DO HERBICIDA SAFLUFENACIL

FERNANDA BRUM MARTINS

#### RESUMO

MARTINS, Fernanda Brum. **Fitotoxicidade e atividade antioxidante do herbicida saflufenacil em cultivares de trigo.** [127] f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

Os herbicidas usados para controlar plantas daninhas em cultivos de trigo diferem na composição e estrutura, porém, todos exercem efeitos desfavoráveis após penetrar na planta. Estes são capazes de induzir a produção intracelular de espécies reativas de oxigênio (EROs) e causar dano oxidativo, o que pode causar a morte das plantas. Entretanto, uma vez que o herbicida atinge a célula vegetal, a capacidade de defesa das plantas é ativada, estimulando o sistema enzimático e não-enzimático. Os antioxidantes evitam a formação de radicais livres, sequestram ou promovem sua degradação, mitigando danos às células das plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o sistema antioxidante de seis cultivares de trigo submetidas a doses do herbicida saflufenacil (7; 14; 21, 28 e 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>, mais 0,5% v<sup>-1</sup> Dash HC e uma testemunha sem herbicida), em diferentes épocas após aplicação. Os resultados demonstram que a concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> gerado pelo herbicida saflufenacil, não diferiu da testemunha. No entanto, o comportamento entre as cultivares diferiu durante as avaliações. Além disso, a atividade do sistema antioxidantes das cultivares de trigo variou de acordo com

---

a dose do herbicida e época de avaliação para as enzimas SOD, APX e CAT. Assim, as cultivares Fundacep 52, BRS Marcante, Jadeíte 11 e ORS Vintecinco apresentaram a melhor capacidade em eliminar o estresse oxidativo causado pelo herbicida saflufenacil.

**Palavras-chave:** enzima, estresse oxidativo, controle químico e pós-emergência.

## CHAPTER II

### ANTIOXIDANT ACTIVITY OF WHEAT CUTIVARS SUBJECTED TO THE APPLICATION OF SAFLUFENACIL HERBICIDE

#### ABSTRACT

MARTINS, Fernanda Brum. **Phytotoxicity and antioxidant activity of saflufenacil herbicide in wheat cultivars.** [127] f. Dissertation (Master in Agronomy) – University of Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

The herbicides used to control weeds in the wheat crop differ on the composition and structure, yet, all of them have unfavorable effects after penetrating on the plant. They are able to incite the intracellular production of reactive species of oxygen (RSOs) and cause oxidative damage, what may cause death of the plants. However, once the herbicide reaches the vegetal cell, the defense capacity of the plants is

activated, stimulating the enzymatic and nonezymatic system. These oxidants allow to avoid the formation of free radicals, kidnap them or promote their degradation, avoiding this way, the occurrence of cell damage on the plants. The aim of this paper was to evaluate the antioxidant system of six wheat cultivars subjected to doses of saflufenacil herbicide (7; 17; 21; 28; and 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>, plus 0,5% Dash HC and one sample without herbicide), in different times after application. The results show that the concentration of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> generated by saflufenacil herbicide did not differ from the sample, yet, the behavior among the cultivars differed during the evaluations. Furthermore, the activity of the antioxidant system on the wheat cultivars changed varied according to the herbicide dose and the evaluation time for the enzymes SOD, APX and CAT. This way, the cultivars BRS Marcante, Jadeíde 11 and ORS Vintecinco showed a better capacity to do away with the oxidative stress caused by saflufenacil herbicide.

**Key words:** enzyme; oxidative stress; chemical control and post-emergence.

## 1 INTRODUÇÃO

O controle químico é o método mais utilizado para o manejo de plantas daninhas por apresentar eficiência, quando comparado com outros métodos (AGOSTINETTO et al., 2016). Todavia, herbicidas frequentemente usados para controlar plantas daninhas em cultivos de trigo diferem na composição e estrutura. Porém, todos exercem efeitos desfavoráveis após penetrar na planta (KHALIQ et al., 2011). Estes induzem à produção intracelular de espécies reativas de oxigênio (EROs), como também causam dano oxidativo, com efeitos negativos nas células vegetais (YIN et al., 2008). Além de promover alterações no metabolismo do nitrogênio e nos níveis hormonais como no metabolismo secundário da planta (RIZZARDI et al., 2003).

Os principais mecanismos de ação dos herbicidas inibem as atividades enzimáticas, seja da síntese de aminoácidos, proteínas e lipídeos (FOYER & NOCTOR 2000). Um exemplo disso é o saflufenacil, herbicida inibidor da enzima protoporfirogênio oxidase (PROTOX), do grupo químico pirimidinadiona (GROSSMANN et al., 2010). Esse herbicida, ao inibir a PROTOX gera estresse oxidativo em plantas (FOYER & NOCTOR 2000; MEROTTO JR & VIDAL, 2001;).

Dessa forma, os herbicidas inibidores da PROTOX suprimem ou retardam o desenvolvimento das plantas pelo acúmulo de radicais livres os quais desencadeiam uma série de distúrbios

celulares que levam as plantas susceptíveis à morte (DAYAN & WATSON, 2011).

A fitotoxicidade provocada pelo uso de herbicida ocorre, principalmente, devido ao aumento de espécies reativas de oxigênio (EROs). Entre as principais formas de EROs estão o radical superóxido ( $O_2^{\bullet-}$ ), peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), radical hidroxila ( $OH^{\bullet}$ ) e oxigênio singleto ( $^1O^2$ ) (CHANDRU et al., 2003). Uma vez que os herbicidas atingem as células vegetais, fazem com que a capacidade de defesa das plantas é ativada (BELUCI et al., 2015).

Assim, o grau do estresse oxidativo em uma célula pode ser determinado pelo teor de superóxido, peróxido de hidrogênio e radicais hidroxilas. Para limitar os danos oxidativos causados por EROs, as plantas evoluíram seu sistema enzimático e não-enzimático para defesa contra a toxicidade causada pelas EROs (PASTORI & FOYER, 2002).

O sistema antioxidante enzimático é constituído por um conjunto de enzimas como superóxido dismutase (SOD) (E. C. 1.15.1.1), catalase (CAT) (E. C. 1.11.1.6) e ascorbato peroxidase (APX) (E. C.1.11.1.11). Enquanto isso o sistema não-enzimático inclui alguns antioxidantes, tais como fenóis, ácido ascórbico, carotenoides e prolina que existem em diferentes organelas dentro das células vegetais (AHMAD et al., 2010). Estes antioxidantes permitem evitar a formação de radicais livres, sequestrá-los ou promover sua degradação, evitando a ocorrência de danos às células das plantas (SERKEDJIEVA, 2011).

A compreensão do sistema de defesa e a resposta fisiológica das plantas ao estresse herbicida pode facilitar a

investigação sobre fitotoxicidade (NOHATTO et al., 2016). Há diversas explicações para a tolerância de plantas daninhas a herbicidas, entre elas a presença de enzimas que rapidamente eliminam agentes oxidativos da célula, com destaque para a superóxido dismutase, a ascorbato peroxidase e a catalase (CHELIKANI et al., 2004; CARVALHO et al., 2012).

Observa-se então, que o balanço das atividades da superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e catalase são imprescindíveis na supressão dos níveis tóxicos das espécies reativas na célula (APEL & HIRT, 2004). Deste modo, a capacidade das células para ajustar a sua capacidade de remoção de níveis elevados de EROs parece ser um dos elementos básicos na aquisição de tolerância ao estresse ambiental (PASTORI & FOYER, 2002). Há relatos de que plantas que expressam maior atividade da SOD possuem melhor tolerância para alguns estresses abióticos (COUTINHO, 2016).

A determinação do estresse oxidativo, pode ser vantajosa para as células e organismos para desenvolver a rápida detecção da ação dos xenobióticos, estruturas químicas e respostas ao estresse (LOPEZ-MAURY et al., 2008). Assim, o conhecimento dessas interações é essencial para a identificação de rotas envolvidas nos processos fisiológicos, bioquímicos e metabólicos da planta para obtenção de plantas mais tolerantes às condições de estresses (TAUROCO, 2014).

A seletividade herbicida pode ser avaliada usando parâmetro visual, através da observação dos sintomas de fitotoxicidade em plantas, assim como pela variação da fotossíntese e do estresse oxidativo (AGOSTINETTO et al., 2016). Nesse sentido,

também verifica-se que o perfil isoenzimático de plantas tratadas com herbicida, quando similar à testemunha, pode ser uma ferramenta para avaliação de seletividade de herbicidas, quando associado às avaliações fitotécnicas (BELUCI et al., 2015).

Contudo, a atuação das enzimas antioxidantes juntamente com compostos não enzimáticos permite maior tolerância das culturas ao estresse (DEL LONGO et al., 2012). Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o sistema antioxidante de cultivares de trigo submetidas à aplicação do herbicida saflufenacil.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado em casa de vegetação e no laboratório de Fitovirologia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária- FAMV da Universidade de Passo Fundo. Este localizado nas coordenadas geográficas S 28° 12' e O 52° 23', com clima subtropical úmido (Cfa) (EMBRAPA, 2013) e solo classificado como Latossolo Vermelho Escuro (EMBRAPA, 1999).

A execução do trabalho consistiu-se de duas etapas, a primeira foi realizada em casa de vegetação, para a produção do material vegetal e a segunda no laboratório de Fitovirologia, para determinações bioquímicas. No período de agosto a de dezembro de 2015.

### **Etapa I**

Na casa de vegetação, os tratamentos foram compostos por cultivares de trigo (Fundacep 52, BRS Parrudo, BRS Marcante, Tec 10, Jadeíte 11, ORS Vintecinco), doses do herbicida saflufenacil (7; 14; 21, 28 e 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>), e uma testemunha sem herbicida, mais 0,5% v<sup>-1</sup> 0,5% (Dash HC) e épocas de coleta de material vegetal (0, 10, 20, 48 e 80 horas após aplicação do herbicida (HAA). Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial 6 x 6 x 5, com quatro repetições.

As unidades experimentais consistiram de vasos plásticos de 19 cm de diâmetro e 15 cm de altura, com capacidade volumétrica de 2,9 L perfazendo área superficial de 4,53 cm<sup>2</sup>. Os vasos foram preenchidos com substrato comercial do tipo Turfa Fértil e solo na proporção 1:1. A adubação foi realizada conforme as necessidades do solo e recomendações para a cultura do trigo (ROLAS, 2004). Utilizou-se duas plantas por vaso para as coletas de material vegetal. A aplicação do tratamento herbicida foi realizada quando as plantas estavam no estágio de perfilhamento pleno. Utilizou-se pulverizador costal de precisão, pontas jato plano XR 11002, na altura de 0,5 metros acima do alvo com volume de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup>.

Foram realizadas coletas das folhas do terço médio superior completamente expandidas as quais foram envolvidas em papel alumínio identificado e imediato congelamento em nitrogênio líquido (-196 ° C) e levadas ao laboratório, onde foram armazenadas em ultra freezer (- 80 ° C), até a determinação das atividades das enzimas SOD, CAT, APX e danos celulares.

## Etapa II

Os danos celulares nos tecidos foram determinados através do teor de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), conforme descrito por Sergier et al., (1997). Para proceder-se essas análises, 0,2 g de folhas foram maceradas com nitrogênio líquido, homogeneizados em 2 mL de ácido tricloroacético 0,1 % (m/v) e centrifugadas a 5600 rpm por 20 minutos em centrífuga refrigerada (4 ° C).

Para a quantificação de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), adicionaram-se alíquotas de 0,2 mL do sobrenadante em 0,8 mL de tampão fosfato 10 mM (pH 7,0) e 1 mL de iodeto de potássio 1 M. A solução foi deixada em repouso por 10 min em temperatura ambiente, sendo a absorbância lida a 390 nm. A concentração de  $H_2O_2$  foi determinada através de curva padrão de  $H_2O_2$  e expressa em  $\mu\text{mol de } H_2O_2 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$  (massa fresca). Para determinar a atividade das enzimas antioxidantes, superóxido desmutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT), procedeu-se a extração, em que 0,2 g de amostra foi macerada em almofariz de porcelana, na presença de nitrogênio líquido e 0,02 g de polivinilpirrolidona (PVPP).

Em seguida, adicionaram-se 900  $\mu\text{L}$  de tampão fosfato 200 mM (pH 7,8), 18  $\mu\text{L}$  de EDTA 10 mM, 180  $\mu\text{L}$  de ácido ascórbico 200 mM e 702  $\mu\text{L}$  de água ultrapura e centrifugado a 14000 rpm em centrífuga refrigerada (4°C) por 20 min. A atividade da SOD foi determinada segundo metodologia adaptada de Peixoto (1997), a partir de Del Longo et al., (1993) e Giannopolitis & Ries (1977). Por esse método, determinou-se a inibição da redução do NBT ( $p$ -nitro blue tetrazolium) pelo extrato enzimático, evitando-se assim, a formação do cromóforo.

Neste ensaio, uma unidade de atividade enzimática (UA) de SOD foi considerada como a quantidade de enzima necessária para se obter 50 % de inibição da redução do NBT pela SOD contida no extrato enzimático. Para a reação, adicionaram-se em tubo de ensaio 1 mL de tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,8), 400 µL de metionina 70 mM, 20 µL de EDTA 10 µM, 390 µL de água ultrapura, 150 µL de NBT 1 mM, 20 µL de riboflavina 0,2 mM e 20 µL de extrato. Em seguida os tubos foram levados para câmara iluminada por lâmpada fluorescente de 15 Watts, por período de 10 min, sendo então realizada a leitura da absorbância a 560 nm.

Para o cálculo, o branco da reação foi considerado como sendo tubos que não continham extratos, exposto e não expostos à luz. A atividade foi determinada pelo cálculo da quantidade de extrato que inibiu 50 % da reação de NBT e expressa em UA mg<sup>-1</sup> MF minuto<sup>-1</sup>. Os dados obtidos foram analisados quanto a sua normalidade (teste de Shapiro Wilk), em seguida submetidos a análise da variância, pelo teste F (p<0,05). Para as variáveis que não foi possível a utilização do modelo de regressão, empregou-se o teste de Tukey de comparação de médias com 5% de probabilidade de erro (p<0,05).

Para as variáveis que apresentaram interação significativa, os dados foram ajustados em modelo de regressão não lineares. Utilizou-se posteriormente o programa Sigma Plot versão 12.5 para a obtenção das curvas de regressão. Para o ajuste da curva das atividades enzimáticas utilizou-se o modelo logístico de quatro parâmetros, descrito por Green & Streibig, (1993); Seefeldt et al., (1995):

$$\text{Equação: } a + b [1+x/c]^{(d)}$$

Onde:  $y$  = atividade da enzima;  $x$  = coeficiente da dose  $D$ ; e  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  = coeficientes da curva, de modo que  $a$  é o limite inferior da curva,  $b$  é a diferença entre o ponto máximo e o mínimo da curva,  $c$  é o coeficiente da dose  $D$  que proporciona 50% de resposta da variável dependente;  $d$  é a declividade da curva ao redor de  $c$  (SEEFELDT et al., 1995).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a variável peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), não houve interação dos fatores cultivares x dose x época de coleta. Entretanto, verificou-se interação entre os fatores cultivares de trigo x épocas de aplicação. Assim o estresse oxidativo avaliado a partir da concentração de ( $H_2O_2$ ), causado pelo herbicida saflufenacil, não diferiu da testemunha. Porém, constatou-se diferença de comportamento entre as cultivares em relação às épocas de coleta de material vegetal.

As cultivares BRS Parrudo e Jadeíte 11 apresentaram maior concentração em todas as épocas avaliadas (Figura 1). Com relação à avaliação as 10 HAA, não se observou diferença entre as cultivares BRS Marcante e ORS Vintecinco e entre as cultivares Tec 10 e Fundacep 52.

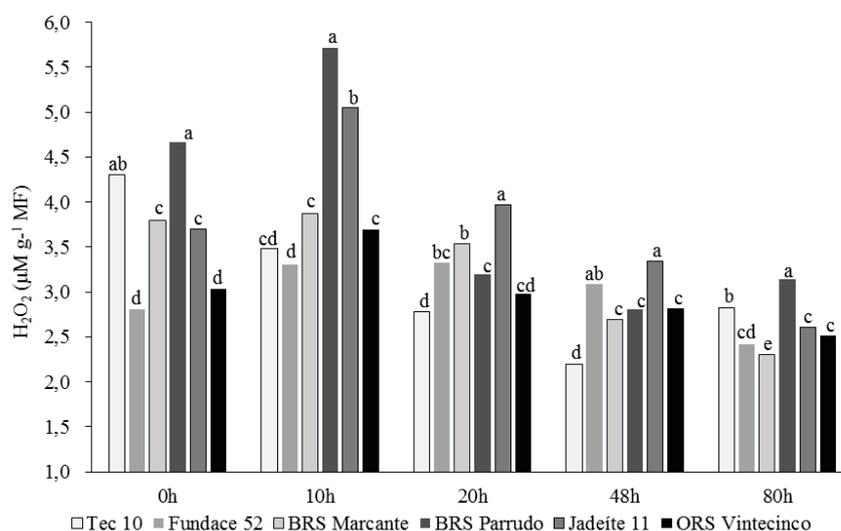


Figura 1- Concentração de peróxido de hidrogênio  $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$  de cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas às 0, 10, 20, 48 e 80 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas barras não diferem entre si dentro de cada época de avaliação pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Por outro lado, verificou-se diferenças para a BRS Parrudo, com  $5,9 \mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ , seguida da cultivar Jadeite 11, com  $5,0 \mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ .

Na avaliação realizada as 20 HAA, as cultivares de trigo apresentaram reduções no conteúdo de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , em relação às avaliações anteriores (0 e 10 HAA). Nesse período, o máximo teor de  $\text{H}_2\text{O}_2$  foi encontrado para a cultivar Jadeite 11, com  $4,0 \mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ . Nota-se que estes valores são em decorrência da alta atividade verificada anteriormente, as 10 HAA, que gradativamente reduziu (Figura 1). Observou-se 40% de redução do  $\text{H}_2\text{O}_2$  para a cultivar BRS

Parrudo, apresentando  $3,0 \mu\text{mol}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1}$  MF. O mesmo foi observado em relação as cultivares ORS Vintecinco e Tec 10 quanto ao  $\text{H}_2\text{O}_2$  avaliado as 0 HAA.

As cultivares Fundacep 52 e BRS Marcante não diferiram entre si, apresentando em torno de  $3,8 \mu\text{mol}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1}$  MF. As 48 HAA, as cultivares Jadeíte 11 e Fundacep 52 apresentaram o maior conteúdo de  $\text{H}_2\text{O}_2$  em relação as demais cultivares avaliadas, com conteúdo próximo a  $3,0 \mu\text{mol}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1}$  MF. Entretanto, as cultivares, ORS Vintecinco, BRS Parrudo e Fundacep 52 não diferiram entre si, com  $2,8 \mu\text{mol}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1}$  MF. A cultivar Tec 10 caracterizou-se como à cultivar com menor estresse oxidativo do período, com  $2,0 \mu\text{mol}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Para a última avaliação, as 80 HAA, observou-se o maior conteúdo de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , para a cultivar BRS Parrudo com  $3,0 \mu\text{mol}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1}$  MF. Entretanto, o aumento de  $\text{H}_2\text{O}_2$  não era esperado, pois, aos três dias após aplicação de herbicidas de contato, foi detectado dano visual, caracterizado por necrose foliar. Para a cultivar Tec 10, verificou-se acréscimo  $\text{H}_2\text{O}_2$  em relação a 48 HAA, com aumento de 2,1 para  $2,8 \mu\text{mol}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1}$  MF de  $\text{H}_2\text{O}_2$ .-Para as cultivares ORS Vintecinco, Jadeíte 11 e Fundacep 52, o conteúdo de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , foi de  $2,5 \mu\text{mol}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1}$ MF, com a menor concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  para a cultivar BRS Marcante,  $2,3 \mu\text{mol}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1}$ MF.

A similaridade do conteúdo de  $\text{H}_2\text{O}_2$  com à testemunha, não indica, necessariamente, ausência de estresse oxidativo, pois, este radical pode ter sido convertido em outro radical, mais prejudicial para a célula (LANGARO et al., 2016). Esses radicais podem ter sido, hidroxila ( $\text{OH}^\cdot$ ), oxigênio singlete ( $^1\text{O}_2$ ) e superóxido ( $\text{O}_2^\cdot^-$ ), fortes

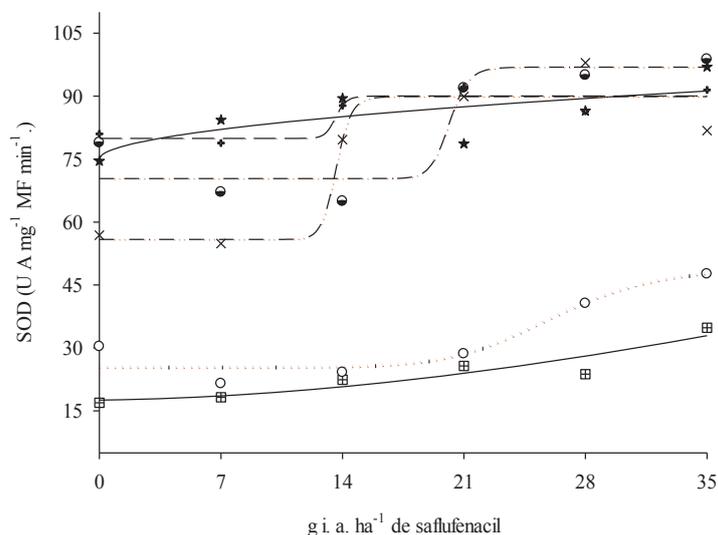
oxidantes que podem iniciar danos oxidativos, levando a distúrbios nas funções metabólicas e à peroxidação lipídica de membranas (KARUPPANAPANDIAN et al., 2011; MAIA et al., 2012). Entretanto, em geral, a principal causa é decorrente da desmutação do radical superóxido, devido à ação do herbicida saflufenacil, um inibidor de PROTOX, que após inúmeras reações químicas produzem radical superóxido ( $O_2^-$ ), além de oxigênio singlete ( $^1O_2$ ), entre outros compostos (DAYAN & DUKE, 2010). Outra possibilidade é a produção de  $H_2O_2$  proveniente da rota de defesa vegetal octadecanóide. Esta rota induz a produção de  $H_2O_2$  que pode atuar inicialmente como molécula sinalizadora de defesa em plantas (SOARES & MACHADO, 2007).

Contudo, as cultivares Jadeíte 11 e Fundace 52 e BRS Parrudo apresentaram os maiores teores de  $H_2O_2$ , que assim, como as demais cultivares de trigo, reduziram o teor de  $H_2O_2$  ao longo das avaliações. Tal ocorrência, pode estar associado ao aumento de prolina, um aminoácido protetor à diferentes fontes de estresse em plantas, com xenobióticos, eliminando radicais livres (SONG et al., 2007; VERBRUGGEN & HERMANS, 2008).

Para a atividade da enzima SOD, verificou-se interação entre os fatores, cultivares de trigo x dose x época de coleta do material vegetal. Assim, a atividade antioxidante da SOD entre as cultivares de trigo responderam conforme a dose do herbicida e época de coleta do material vegetal. Todavia, a máxima atividade verificada para todas as cultivares ocorreu no tempo zero. Observou-se, que a atividade da enzima SOD foi estimulada com o aumento da dose do herbicida. Os resultados indicam que o uso do herbicida saflufenacil,

influencia no sistema de defesa das plantas de trigo, variando de acordo com a cultivar (Figura 2).

Verificou-se, na avaliação inicial (tempo zero), a formação de dois comportamentos distintos entre as cultivares. Para as cultivares Tec 10 e Fundacep 52, a atividade da SOD foi similar com pequeno acréscimo com aumento da dose, apresentando máxima atividade nas doses de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>. Para as cultivares BRS Marcante, BRS Parrudo, Jadeíte 11 e ORS Vintecinco, a atividade variou de 60 a 100 UA mg<sup>-1</sup> MF para todos os tratamentos, apresentando as maiores atividades da enzima, quando comparado as demais cultivares nesse período. Para as cultivares Jadeíte 11 e ORS Vintecinco, o I<sub>50</sub> foi verificado a partir da dose de 14 g i. a. ha<sup>-1</sup>, já a cultivar BRS Parrudo apresentou I<sub>50</sub> na dose de 21 g i. a. ha<sup>-1</sup>. Por outro lado, a cultivar BRS Marcante não se ajustou ao modelo adotado, apresentando comportamento constante independente da dose usada.

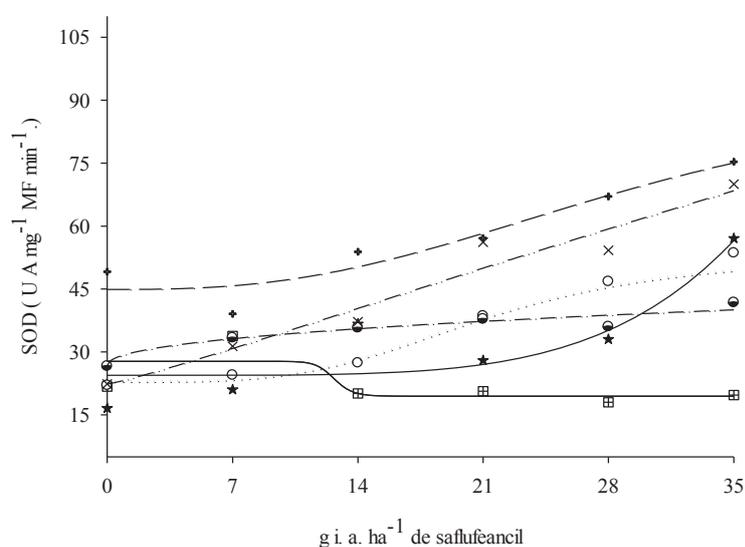


(—●—) Tec 10  $y = 17,59 + 178808,19[1 + (x/8143,17)^{-1,72}]$   $R^2 = 0,86$   
 (---○---) Fundacep 52  $y = 25,32 + 24,21[1 + (x/26,26)^{-8,51}]$   $R^2 = 0,92$   
 (—★—) BRS Marcante  $y = 75,07 + 18954,94[1 + (x/291928,78)^{-0,52}]$   $R^2 = 0,54$   
 (—■—) BRS Parrudo  $y = 70,37 + 26,54[1 + (x/20,17)^{36,82}]$   $R^2 = 0,89$   
 (—×—) Jadeíte 11  $y = 55,87 + 34,02(x/13,63)^{-31,80}$   $R^2 = 0,85$   
 (—+—) ORS Vintecinco  $y = 79,94 + 10,91[1 + (x/13,61)^{43,75}]$   $R^2 = 0,85$

Figura 2- Atividade da superóxido dismutase (SOD) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliada a 0 hora após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.

A variabilidade observada entre as cultivares de trigo pode estar relacionada com a absorção do produto pela folha, pois há produção de EROs na ativação do sistema de defesa das plantas. A atuação das enzimas detoxificadoras, pode ser variável ao longo do tempo, devido ao modo de ação do herbicida e também em função da capacidade de metabolização da planta ao  $H_2O_2$  (ASHIGH & HALL

2010). Constatou-se, para a segunda avaliação, 10 HAA, mudanças na resposta das cultivares em relação à dose, sobretudo redução da atividade da enzima. Nesse período, a máxima atividade foi encontrada na dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>, que variou de 65 a 75 UA mg<sup>-1</sup> MF, para as cultivares ORS Vintecinco e Jadeíte 11, apresentando tendência crescente com a dose de herbicida utilizada.

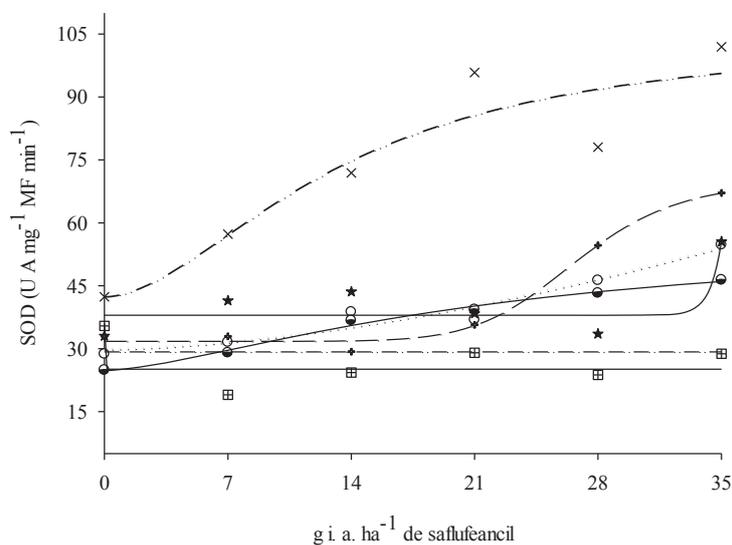


(—■) Tec 10  $y = 14,18 + 21,85[1 + ((x/(-24,20))^{-0,50})]$   $R^2 = 0,94$   
 (—●) Fundacep 52  $y = 22,84 + 30,24[1 + (x/21,10)^{-3,82}]$   $R^2 = 0,99$   
 (—★) BRS Marcante  $y = 24,42 + 134238,68[1 + (x/189,85)^{-4,93}]$   $R^2 = 0,78$   
 (—○) BRS Parrudo  $y = 26,67 + 1400,45[1 + (x/98193,10)^{0,45}]$   $R^2 = 0,91$   
 (—×) Jadeíte 11  $y = 22,33 + 309,93[1 + (x/162,54)^{-1,62,54}]$   $R^2 = 0,86$   
 (—→) ORS Vintecinco  $y = 44,87 + 50,83[1 + (x/30,46)^{-2,75}]$   $R^2 = 0,91$

Figura 3- Atividade da superóxido dismutase (SOD) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas 10 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.

Resposta semelhante foi observada nas cultivares Tec 10 e BRS Parrudo, embora a atividade enzimática tivesse pequeno aumento com doses crescentes. Acredita-se que para estas cultivares, outros agentes antioxidantes não enzimáticos tenham contribuído para a redução do estresse oxidativo. Isso se deve ao uso de doses crescentes de herbicidas indutores de estresse oxidativo, em que a atividade da enzima SOD tende a aumentar, em resposta a produção de  $H_2O_2$  (BHATTACHARJEE, 2013). Entretanto, as cultivares BRS Marcante e Fundacep 52 mostraram crescente atividade em relação as doses do herbicida. Estando de acordo com Nohatto et al., (2016), as quais afirmam que a elevação da atividade da SOD, em resposta ao estresse imposto por determinados herbicidas decorre da acumulação de EROs, particularmente sob condições que podem levar a morte da célula.

Na avaliação realizada as 20 HAA, a resposta das cultivares diferiu das avaliações anteriores, apresentando para a cultivar Jadeíte 11, aumento significativo da ação da enzima SOD, chegando a valores de  $95 \text{ UA mg}^{-1} \text{ MF}$  para a maior dose de saflufenacil ( $35 \text{ g i. a. ha}^{-1}$ ). O aumento da atividade para esta cultivar pode ter ocorrido em decorrência da produção de  $H_2O_2$  e ativação do mecanismo de ação do herbicida PROTOX, que é dependente de luz (CORRÊA et al., 2010). Afirma-se isso, porque, durante esta coleta (7 hrs), havia presença de luz solar, o que pode ter estimulado o metabolismo da planta e conseqüentemente a ação do herbicida.



(□) Tec 10  $y = 14,18 + 21,85[1 + ((x/(-27,22))^{-0,50})]$   $R^2 = 0,57$   
 (○) Fundacep 52  $y = 29,76 + 1733,82[1 + (x/7120,23)^{-1,67}]$   $R^2 = 0,94$   
 (★) BRS Marcante  $y = 37,98 + 618046,13[1 + (x/48,46)^{-53,39}]$   $R^2 = 0,74$   
 (●) BRS Parrudo  $y = 24,75 + [1 + (x/98193,10)^{0,45}]$   $R^2 = 0,91$   
 (×) Jadeíte 11  $y = 42,33 + 63,02[1 + (x/13,54)^{-1,79}]$   $R^2 = 0,86$   
 (→) ORS Vintecincio  $y = 31,75 + 38,51[1 + (x/26,83)^{9,10}]$   $R^2 = 0,99$

Figura 4- Atividade da superóxido dismutase (SOD) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 20 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.

A cultivar ORS Vintecincio apresentou reduzido aumento na atividade da SOD, tendo rápido acréscimo a partir da dose de 28 g i. a. ha<sup>-1</sup>. Ainda nessa avaliação, observou-se, similaridade de comportamento para as cultivares BRS Parrudo e Fundacep 52, com aumento na dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>. Por outro lado, a cultivar Tec 10,

não exibiu diferença em relação a dose do herbicida, assim não apresentou ajuste ao modelo. Contudo, a cultivar BRS Marcante apresentou resposta similar as doses de herbicida em relação a testemunha, exceto para a dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>, na qual houve um rápido aumento da atividade da enzima. Resposta semelhante foi encontrada por XAVIER (2014) em biótipos de *Euphorbia heterophylla* as 24 HAA de saflufenacil, cuja a atividade da SOD foi próxima à testemunha, que de acordo com o autor, é decorrente da característica genética dos biótipos, ou ainda, em consequência de danos mecânicos durante a coleta do material.

As 48 HAA, observou-se, similaridade na resposta das cultivares de trigo, em relação às doses de saflufenacil, com teores que variaram de 15 a 55 UA mg<sup>-1</sup> MF. Para a última avaliação realizada 80 HAA, a cultivar Fundacep 52 apresentou os maiores teores de SOD dentre as cultivares avaliadas nesse período, com aumento linear, chegando a 60 UA mg<sup>-1</sup> MF para a dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>. Do mesmo modo, as cultivares BRS Marcante e ORS Vintecinco apresentaram aumento na atividade enzimática à medida que a dose de herbicida foi aumentada, no entanto, com teor inferior a 30 UA mg<sup>-1</sup> MF, para a maior dose. Para a cultivar Tec 10, observou-se, redução da atividade da enzima a partir da dose de 21 g i. a. ha<sup>-1</sup>, o que caracteriza comportamento inverso das demais cultivares. Para as cultivares Jadeíte 11, BRS Parrudo o aumento da dose, não alterou a atividade da enzima SOD, a qual permaneceu em torno de 20 UA mg<sup>-1</sup> MF independente da dose utilizada.

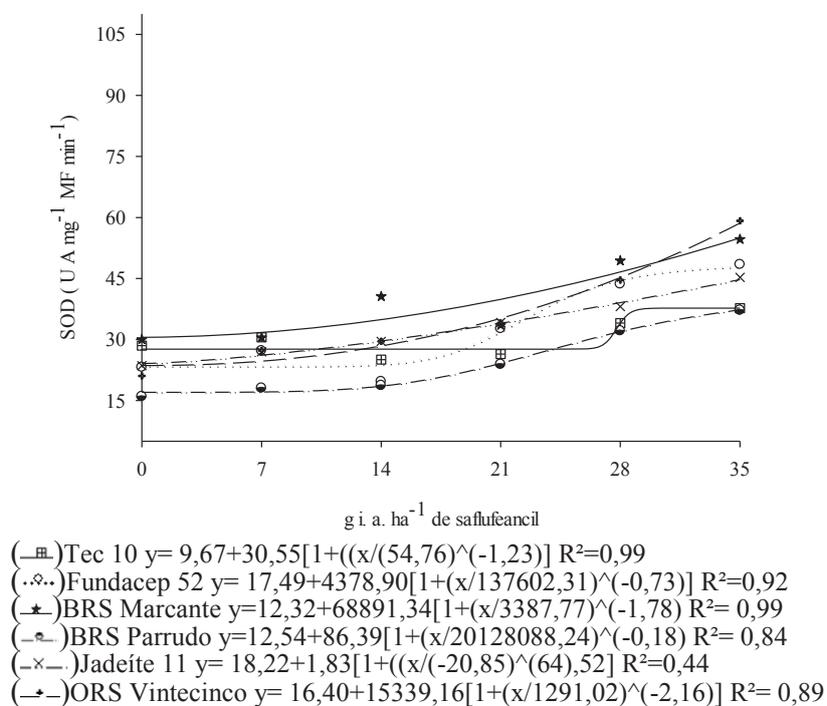
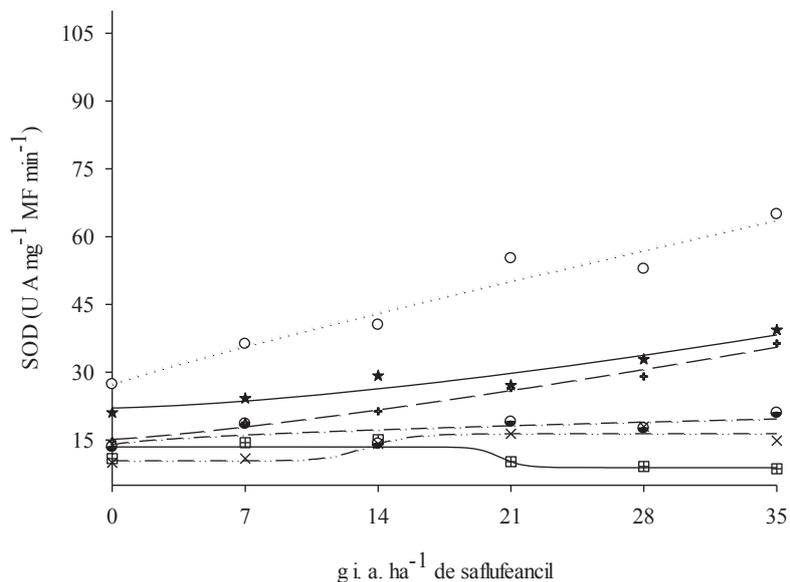


Figura 5- Atividade da superóxido dismutase (SOD) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 48 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.



(□) Tec 10  $y = 8,88 + 4,57[1 + ((x/(-20,44))^{-72,89})]$   $R^2 = 0,72$   
 (○) Fundacep 52  $y = 27,31 + 17188,67[1 + (x/29536,21)^{-0,91}]$   $R^2 = 0,95$   
 (★) BRS Marcante  $y = 22,08 + 256548,62[1 + (x/2572,13)^{-1,46}]$   $R^2 = 0,91$   
 (×) BRS Parrudo  $y = 13,78 + 10788,58[1 + ((x/(-15607003,76))^{-0,58})]$   $R^2 = 0,53$   
 (x) Jadeíte 11  $y = 10,42 + 6,00[1 + (x/13,42)^{-12,01}]$   $R^2 = 0,89$   
 (▲) ORS Vintecinco  $y = 1515,00 + 278150,35[1 + (x/730008,60)^{-1,24}]$   $R^2 = 0,98$

Figura 6- Atividade da superóxido dismutase (SOD) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 80 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.

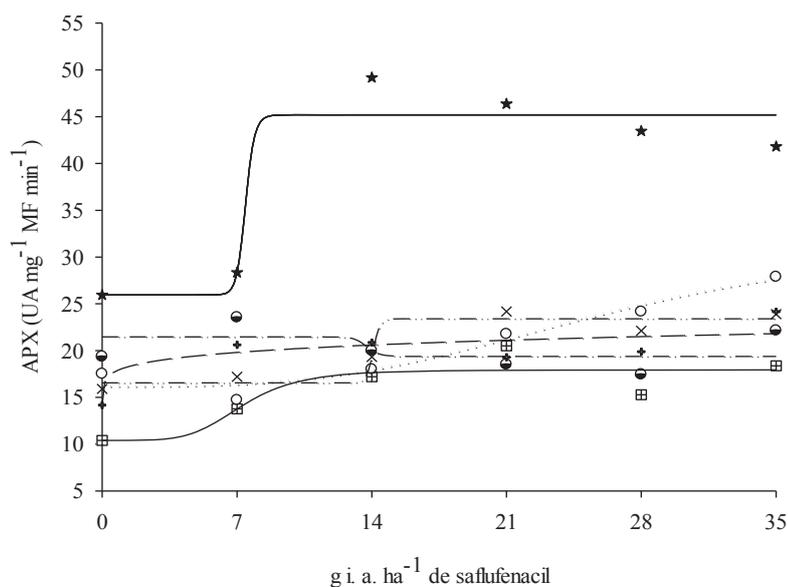
Assim, como observado neste trabalho, biótipos de *E. heterophylla* após a aplicação de saflufenacil com diferentes doses e coleta de material vegetal, apresentou aumento da SOD nas primeiras horas de avaliação, resultando em maior produção de  $H_2O_2$  (XAVIER, 2014). A atividade elevada da SOD em plantas tem sido correlacionada com a tolerância ao estresse oxidativo, para herbicidas

como fluroxipir e atrazina (WU et al., 2010; ZHANG et al., 2014). É oportuno acrescentar, também, as posições de alguns autores sobre o uso de outros herbicidas, os quais também causam significativo estresse em culturas. No caso do arroz, após a aplicação de atrazina, foi observado aumento superior de 240 % em relação à testemunha (ZHANG et al., 2014). Quando usado paraquat no trigo (EKMEKCI & TERZIOGLU et al., 2005), glifosato em arroz (AHSAN et al., 2008), lactofen na soja (FERREIRA et al., 2010) houve aumento da atividade da SOD. Contudo, as maiores alterações são ocasionadas por herbicidas inibidores de PROTOX, quando avaliando ERO's (JUNG et al., 2008).

A atividade da enzima APX apresentou interação entre os fatores cultivares de trigo x doses do herbicida x época de coleta do material vegetal. Assim, verificou-se diferença na atividade da APX de acordo com a cultivar, a dose e a época de coleta do material vegetal. A cultivar BRS Marcante apresentou maior atividade da APX, para todas as doses de saflufenacil e época coleta do material vegetal. Para a primeira avaliação realizada 0 HAA, verificou-se, similaridade de resposta entre as cultivares, e pequena diferença da APX entre as doses de saflufenacil quando comparado a testemunha. Porém, para a cultivar Fundacep 52, o comportamento foi linear para as doses crescente, chegando próximo a  $30 \text{ UA mg}^{-1} \text{ MF mim}^{-1}$ , para a maior dose (Figura 7). Na cultivar BRS Marcante, os valores de APX foram superiores às demais mesmo para o tratamento controle ( $26 \text{ UA mg}^{-1} \text{ MF mim}^{-1}$ ).

No tempo de 10 HAA, não houve mudança significativa na atividade de APX nas distintas cultivares de trigo em relação as

doses de herbicida. A partir desse período foi possível verificar o real comportamento para cada dose do herbicida.

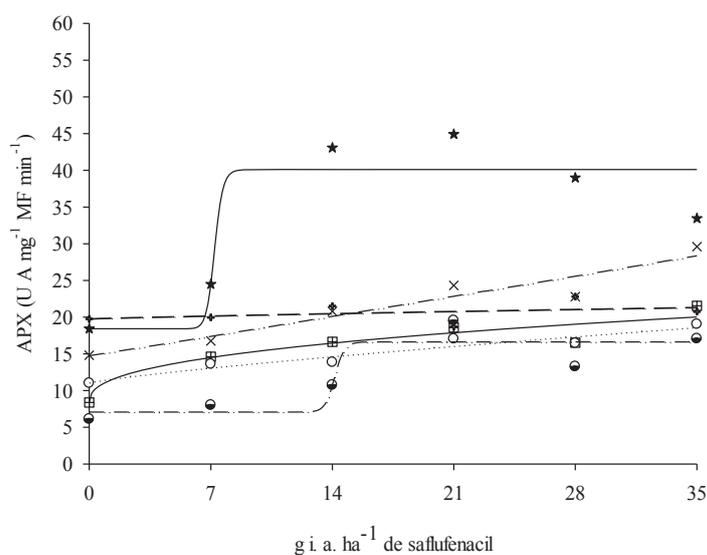


(□) Tec 10  $y = 10,40 + 7,53[1 + ((x/7,53)^{-4,91})]$   $R^2 = 0,78$   
 (●) Fundacep 52  $y = 16,14 + 16,46[1 + (x/27,05)^{-3,23}]$   $R^2 = 0,95$   
 (★) BRS Marcante  $y = 25,94 + 19,26[1 + (x/7,44)^{-32,13}]$   $R^2 = 0,93$   
 (▲) BRS Parrudo  $y = 19,37 + 2,08[1 + (x/13,73)^{42,38}]$   $R^2 = 0,2$   
 (×) Jadeíte 11  $y = 16,55 + 68,84[1 + (x/14,06)^{-82,74}]$   $R^2 = 0,94$   
 (→) ORS Vintecinco  $y = 14,20 + 152,03[1 + (x/93764142,67)^{-0,20}]$   $R^2 = 0,77$

Figura 7- Atividade da ascorbato peroxidase (APX) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliada a 0 hora após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.

A cultivar BRS Marcante diminuiu a concentração de APX nas doses de 28 e 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>. Nessa época (10 HAA), a cultivar BRS Parrudo, apresentou a menor atividade até a dose de 14 g

i. a. ha<sup>-1</sup>, em torno de 5 UA mg<sup>-1</sup> MF min<sup>-1</sup>. Porém, a partir dessa dose, a atividade da enzima APX, mostrou um rápido aumento, próximo a 15 UA mg<sup>-1</sup> MF min<sup>-1</sup>, mantendo-se constante para as demais doses de saflufenacil.

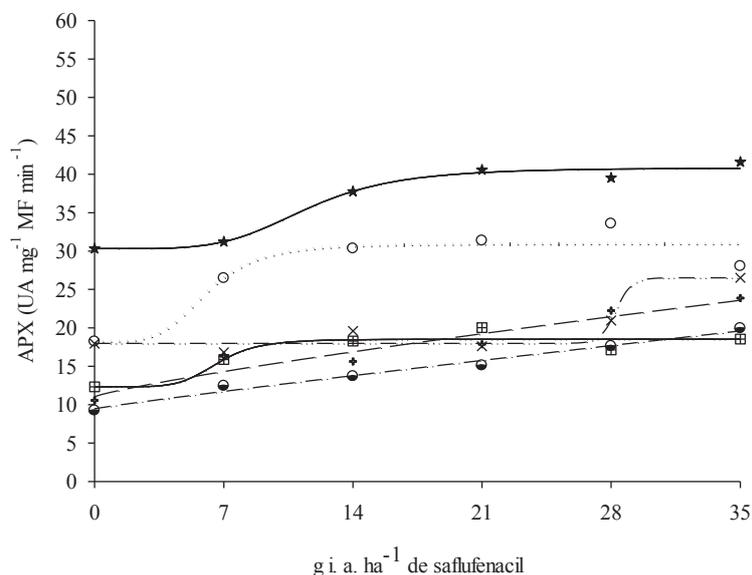


- (—■) Tec 10  $y = 12,33 + 6,18[1 + (x/6,67)^{-6,07}]$   $R^2 = 0,88$   
 (·····) Fundacep 52  $y = 11,09 + 18674,96[1 + (x/512588,03)^{-0,81}]$   $R^2 = 0,93$   
 (—★) BRS Marcante  $y = 18,41 + 21,70[1 + (x/7,22)^{-30,69}]$   $R^2 = 0,86$   
 (—●) BRS Parrudo  $y = 7,07 + 9,54[1 + (x/14,13)^{-51,58}]$   $R^2 = 0,84$   
 (—×—) Jadeite 11  $y = 14,74 + 3852169,66[1 + (x/768012,72)^{-1,02}]$   $R^2 = 0,91$   
 (—→) ORS Vintecinco  $y = 11,02 + 135593,81[1 + (x/2396801,62)^{-0,83}]$   $R^2 = 0,93$

Figura 8- Atividade da ascorbato peroxidase (APX) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 10 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.

Já para a cultivar Jadeíte 11, o uso de doses crescentes do herbicida aumentou linearmente a atividade de APX, com máxima para a dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup> (27 U A mg<sup>-1</sup> MF mim<sup>-1</sup>) (Figura 8).

Resultados diferentes foram encontrados para as cultivares ORS Vintecinco, Fundacep 52 e Tec 10, a atividade da APX apresentou reduzida variação em relação às doses de herbicida de 10 a 20 UA mg<sup>-1</sup> MF mim<sup>-1</sup> para todas as doses e saflufenacil. As 20 HAA, as cultivares BRS Marcante e Fundacep 52 apresentaram aumento na atividade da APX, a partir da primeira dose do herbicida saflufenacil (7 g i. a. ha<sup>-1</sup>), com teores de 40 e 27 UA mg<sup>-1</sup> MF mim<sup>-1</sup>, respectivamente. Para a cultivar Jadeíte 11, observou-se elevado aumento da atividade da APX, a partir da dose de 28 g i. a. ha<sup>-1</sup>, evidenciando que esta atividade da APX está relacionada com a SOD, pois apresentou intensa atividade durante o mesmo período. Para as cultivares BRS Parrudo, ORS Vintecinco, a atividade antioxidante da APX aumentou linearmente com o acréscimo das doses de saflufenacil, com valores máximos de 20 UA mg<sup>-1</sup> MF mim<sup>-1</sup>).



- (—■) Tec 10  $y = 12,33 + 6,18[1 + ((x/(-6,67))^{-6,070})]$   $R^2 = 0,88$   
 (·····) Fundacep 52  $y = 18,19 + 12,73[1 + (x/6,09)^{-4,38}]$   $R^2 = 0,89$   
 (—★) BRS Marcante  $y = 30,32 + 10,52[1 + (x/11,57)^{4,68}]$   $R^2 = 0,98$   
 (—●) BRS Parrudo  $y = 9,47 + 529713,74[1 + (x/3959063,92)^{-0,93}]$   $R^2 = 0,98$   
 (—×) Jadeíte 11  $y = 17,98 + 8,53[1 + (x/28,26)^{-66,89}]$   $R^2 = 0,93$   
 (—→) ORS Vintecinco  $y = 11,03 - 0,8341[1 + (x/2396801,62)^{-2,75}]$   $R^2 = 0,91$

Figura 9- Atividade da ascorbato peroxidase (APX) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 20 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.

As 48 HAA a APX reduziu para todas as cultivares de trigo. A maior atividade foi observada para as cultivares Fundacep 52 e BRS Marcante na dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup> com 30 e 25 UA mg<sup>-1</sup> MF mim<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 10).

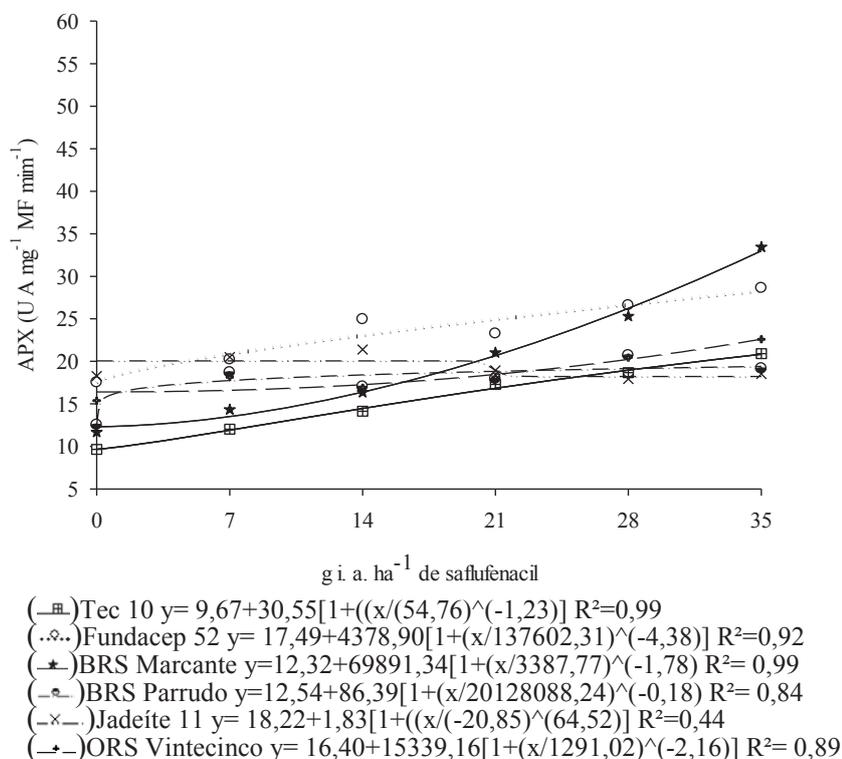
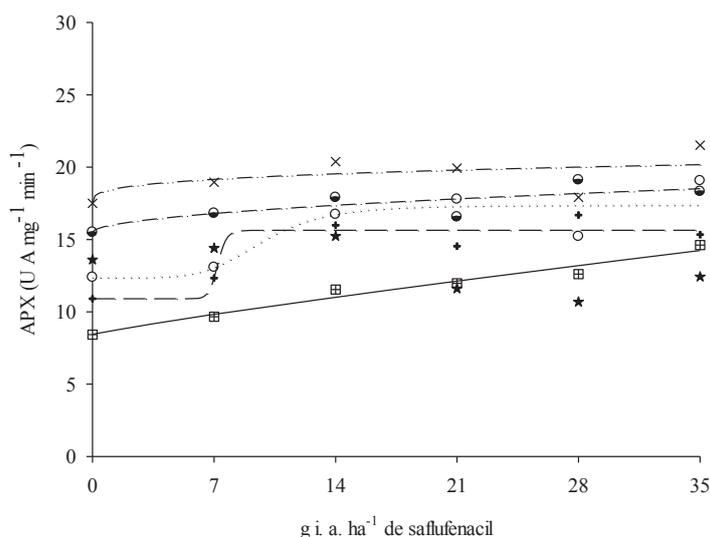


Figura 10- Atividade da ascorbato peroxidase (APX) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 48 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.

Verificou-se para as cultivares Tec 10, BRS Parrudo e ORS Vintecinco similaridade na resposta às doses do herbicida saflufenacil. Contudo, a cultivar Tec 10, apresentou a menor atividade para o controle em torno de 10 UA mg<sup>-1</sup> MF mim<sup>-1</sup>, o que evidencia ser uma cultivar sensível ao uso do herbicida. Para a última avaliação, realizada as 80 HAA, verificou-se a menor atividade de APX quando comparado às avaliações anteriores da enzima. Esses resultados

confirmam o que é verificado em avaliação visual de fitotoxicidade para herbicidas inibidores de PROTOX, onde a produção de estresse oxidativo ocorre até o terceiro dia após aplicação do herbicida.



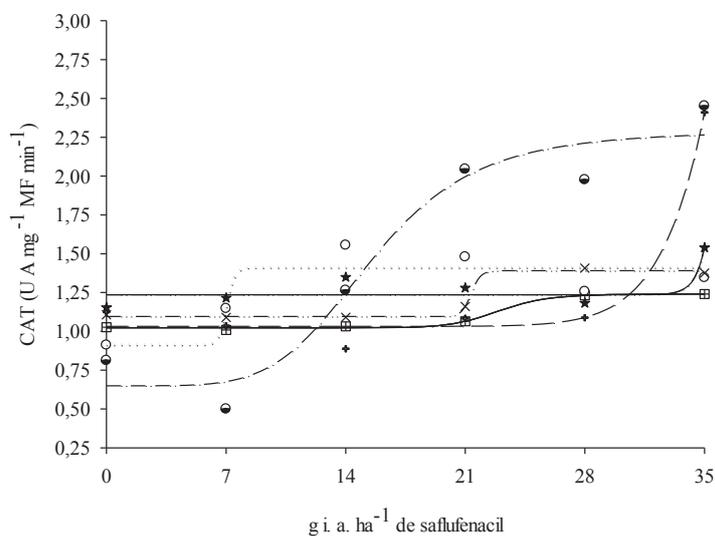
(□) Tec 10  $y = 3339,45 + 818,67[1 + ((x/20,58)^{63,73})]$   $R^2 = 0,74$   
 (●) Fundacep 52  $y = 3751,04 + 800,64[1 + (x/14,99)^{-6,34}]$   $R^2 = 0,97$   
 (★) BRS Marcante  $y = 2969,02 + 5164310,58[1 + (x/9882,40)^{1,55}]$   $R^2 = 0,93$   
 (▲) BRS Parrudo  $y = 15,51 + 530,84[1 + (x/662439,82)^{-0,52}]$   $R^2 = 0,68$   
 (×) Jadeíte 11  $y = 17,52 + 112,77[1 + ((x/8018522,17)^{0,30})]$   $R^2 = 0,41$   
 (→) ORS Vintecinco  $y = 10,91 + 4,72[1 + (x/7,21)^{28,56}]$   $R^2 = 0,90$

Figura 11- Atividade da ascorbato peroxidase (APX) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 80 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.

Nesse período, constatou-se a formação de três grupos de cultivares. Para as cultivares Jadeíte 11 e BRS Parrudo não houve diferença quanto à atividade da APX em relação às doses de saflufenacil. Já a cultivar Jadeíte 11, não se ajustou ao modelo

empregado, indicando que a dismutação do  $H_2O_2$  pode ter sido interrompida, por outros fatores, como o aumento de algum metabólito como ascorbato, em decorrência da diminuição no teor das EROs (DIPIERRO et al., 2005). As cultivares Fundacep 52 e ORS Vintecinco apresentaram resposta semelhante em relação às doses de saflufenacil a partir da dose de  $7 \text{ g i. a. ha}^{-1}$  com atividade em torno de  $15 \text{ UA mg}^{-1} \text{ MF mim}^{-1}$ . Esses resultados demonstram que a APX pode ter catalizado a conversão do peróxido de hidrogênio, usando o ascorbato como doador de elétrons reação que resulta em monodeidroascorbato (MDHA) e  $H_2O$  (NAKANO & ASADA, 1981).

A dinâmica do funcionamento da APX, pode diferir entre as plantas da mesma espécie, como por exemplo, variedades de trigo tetraplóides e hexaplóides, com máxima atividade no final da floração para tetraploides e alongação para hexaplóides. (HUSEYNOVA et al., 2014). O aumento da atividade da APX, relacionada com a tolerância das cultivares a aplicação de herbicida com diferentes mecanismos de ação é relatada na literatura. De tal modo, quando ocorre aumento transitório dos teores de determinado intermediário reativo de oxigênio, como, por exemplo, o  $H_2O_2$ . Esse aumento pode gerar estímulo da atividade enzimática da APX e, ou aumento de algum metabólito como ascorbato, seguindo-se de conseqüente diminuição no teor das EROs (DIPIERRO et al., 2005). Para a atividade da CAT, verificou-se interação para cultivares de trigo x dose de saflufenacil x épocas de coleta do material vegetal (Figura 11 a 16).



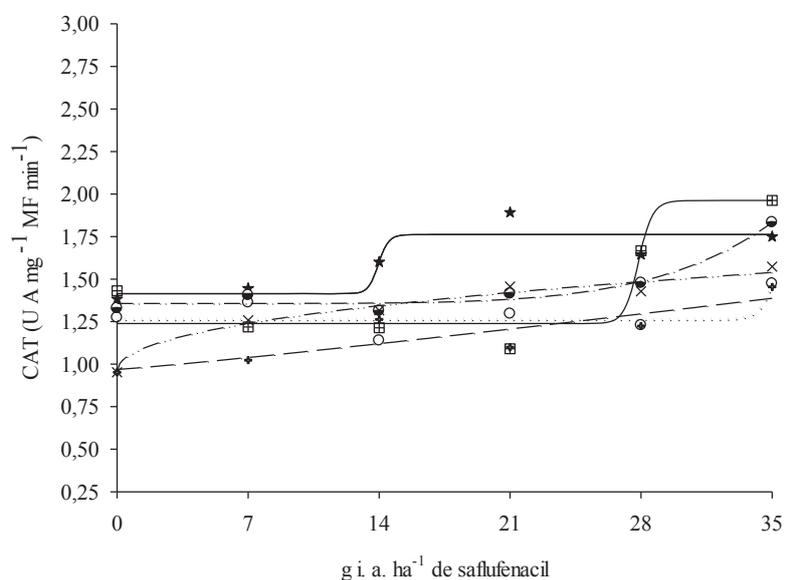
(—■) Tec 10  $y = 1,02 + 0,22[1 + ((x/22,97)^{-15,92})]$   $R^2 = 0,99$   
 (·∞·) Fundacep 52  $y = 0,50 - 30,64[1 + (x/7,02)^{0,91}]$   $R^2 = 0,80$   
 (★) BRS Marcante  $y = 1,23 + 159625,95[1 + (x/46,56)^{-60,16}]$   $R^2 = 0,76$   
 (●) BRS Parrudo  $y = 0,65 + 1,64[1 + (x/15,60)^{-5,11}]$   $R^2 = 0,95$   
 (—×—) Jadeite 11  $y = 1,09 + 0,29[1 + ((x/21,35)^{-77,11})]$   $R^2 = 0,99$   
 (→) ORS Vintecinco  $y = 1,03 + 98,49[1 + (x/47,18)^{-14,25}]$   $R^2 = 0,90$

Figura 12- Atividade da catalase (CAT) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 0 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.

A resposta das cultivares de trigo variou de acordo com a dose do herbicida saflufenacil e tempo de avaliação da atividade da enzima CAT, em decorrência da interação de todos os fatores. Durante a primeira avaliação, realizada no tempo zero-HAA, constatou-se a maior atividade para as cultivares ORS Vintecinco e BRS Parrudo, com 25 UA mg<sup>-1</sup> MF min<sup>-1</sup> para a dose de 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>. A cultivar ORS Vintecinco apresentou elevada atividade unicamente para a dose

mais alta de saflufenacil, o mesmo ocorrendo com a BRS Marcante, a qual, no entanto, apresentou atividade inferior, em torno de 1,5 UA mg<sup>-1</sup> MF min<sup>-1</sup>. Com relação a cultivar BRS Parrudo, observou-se aumento expressivo da atividade a partir da dose de 14 g i. a. ha<sup>-1</sup> (Figura 12).

Com relação a cultivar Tec 10, verificou-se reduzido aumento da atividade para as doses de 28 e 35 g i. a. ha<sup>-1</sup>. Para a cultivar Fundacep 52, o comportamento foi similar ao verificado para a cultivar BRS Marcante, porém, suas atividades apresentaram acréscimo a partir da dose de 14 g i. a. ha<sup>-1</sup> com pequeno acréscimo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> com o aumento da dose. As 10 HAA, constatou-se variação de 1,00 a 1,90 UA mg<sup>-1</sup> MF min<sup>-1</sup> para atividade da enzima CAT, para as cultivares de trigo em diferentes doses do herbicida. Durante esse período, a cultivar Tec 10 apresentou maior atividade da CAT para eliminar o radical H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em H<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>. As doses de 28 e 35 g i. a. ha<sup>-1</sup> foram de maior exigência para a enzima, com valores de 1,75 e 1,90 UA mg<sup>-1</sup> MF min<sup>-1</sup>, respectivamente. Desta forma a cultivar Tec 10 demonstra ser uma cultivar com elevado potencial de tolerância ao herbicida saflufenacil (Figura 13).



$$(\square) \text{Tec 10 } y = 1,20 + 66,26 [1 + (x/27,86)^{-74,21}] \quad R^2 = 0,89$$

$$(\odot) \text{Fundacep 52 } y = 1,26 + 8414,56 [1 + (x/40,94)^{-0,67}] \quad R^2 = 0,58$$

$$(\star) \text{BRS Marcante } y = 1,41 + 0,35 [1 + (x/13,96)^{-51,48}] \quad R^2 = 0,82$$

$$(\ominus) \text{BRS Parrudo } y = 1,36 + 395,12 [1 + (x/112,08)^{-5,77}] \quad R^2 = 0,96$$

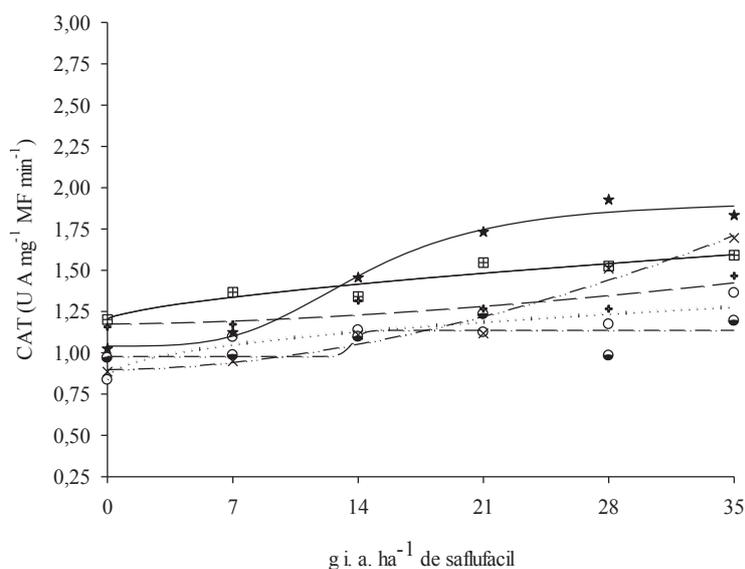
$$(\times) \text{Jadeíte 11 } y = 0,95 + 38,82 [1 + (x/372547,21)^{-0,45}] \quad R^2 = 0,97$$

$$(\rightarrow) \text{ORS Vintecinco } y = 0,97 + 62105,90 [1 + (x/1585843,52)^{-1,11}] \quad R^2 = 0,90$$

Figura 13- Atividade da catalase (CAT) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 10 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.

Comportamento similar, foi observado para a cultivar BRS Marcante, com atividade em torno de  $1,75 \text{ UA mg}^{-1} \text{ MF min}^{-1}$  a partir da dose de  $14 \text{ g i. a. ha}^{-1}$ . Isso evidencia a atividade do sistema antioxidante da cultivar em resposta ao estresse oxidativo causado por herbicida. Entretanto, as cultivares, Fundacep 52, BRS Parrudo, Jadeíte 11 e ORS Vintecinco exibiram resposta adicional às doses de

saflufenacil para a atividade da CAT, com aumento linear, sendo, que a cultivar BRS Parrudo exibiu a maior valor, com  $1,80 \text{ UA mg}^{-1} \text{ MF min}^{-1}$ . As 20 HAA, as cultivares BRS Marcante e Tec 10, apresentaram as maiores atividades quando comparada as demais cultivares.



(—■) Tec 10  $y = 1,20 + 66,26[1 + ((x/72120,91)^{-0,67})]$   $R^2 = 0,90$   
 (·····) Fundacep 52  $y = 0,84 + 132,22[1 + (x/883952,38)^{-0,46}]$   $R^2 = 0,88$   
 (—★) BRS Marcante  $y = 1,04 + 0,88[1 + (x/14,28)^{-3,65}]$   $R^2 = 0,99$   
 (—▲) BRS Parrudo  $y = 0,98 + 0,16[1 + (x/13,66)^{-44,68}]$   $R^2 = 0,46$   
 (—×—) Jadeíte 11  $y = 0,89 + 240,57[1 + ((x/790,71)^{-1,82})]$   $R^2 = 0,96$   
 (—→) ORS Vintecinco  $y = 1,17 + 4571,93[1 + (x/12939,19)^{-1,66}]$   $R^2 = 0,74$

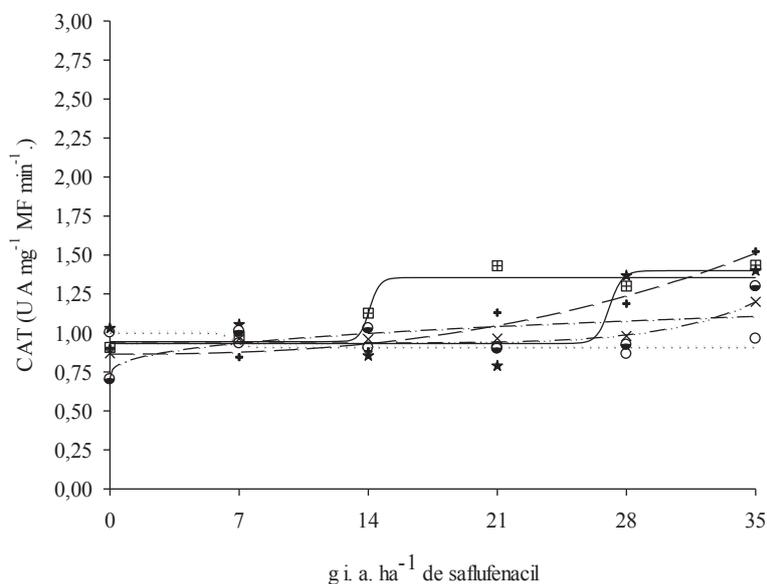
Figura 14- Atividade da catalase (CAT) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas a 20 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.

Nesse período, o comportamento das cultivares, exibiu pequena alteração quando comparada à avaliação anterior (10 HAA).

Contudo, a cultivar Jadeíte 11 mostrou-se mais ativa no rompimento do radical  $H_2O_2$ , com aumento linear iniciando na dose de 14 g i. a.  $ha^{-1}$ . Assim, a atividade da Catalase é efetiva, principalmente, em concentrações relativamente altas de  $H_2O_2$  (mM). Nesse sentido, são consideradas indispensáveis para a desintoxicação de EROs, especialmente em condições de estresse severo, quando os níveis de  $H_2O_2$  estão maiores (DUBEY, 2011).

As 48 HAA, as cultivares de trigo apresentaram atividade menos intensa que nas avaliações anteriores. Para as cultivares Fundacep 52, BRS Marcante, BRS Parrudo, não houve ajuste do modelo adotado, em decorrência da atividade similar entre as doses. A ausência de acréscimo da atividade da CAT, com a utilização de doses elevadas de saflufenacil, evidencia a ocorrência de morte celular, pela peroxidação lipídica. Outra possibilidade pode ter sido em decorrência de elevado estresse, ocasionando a inibição da síntese da enzima ou levar a mudanças na montagem das suas subunidades (SERKEDJIEVA et al., 2011).

Verificou-se acréscimo da atividade para as cultivares Tec 10, ORS Vintecinco e Jadeíte 11. Para a cultivar Tec 10, observou-se dois intervalos de atividade, até  $1,00 \text{ UA mg}^{-1} \text{ MF min}^{-1}$  até a dose de 14 g i. a.  $ha^{-1}$ , e a partir dessa dose  $1,25 \text{ UA mg}^{-1} \text{ MF min}^{-1}$ . Entretanto, as cultivares ORS Vintecinco e Jadeíte 11 apresentaram respostas muito próximas, à medida que aumentava a dose de saflufenacil, acrescia a atividade da CAT. Dessa forma, o aumento da atividade dessa enzima, indica a sua atuação no combate do estresse celular nas cultivares de trigo (BARBOSA et al., 2010).

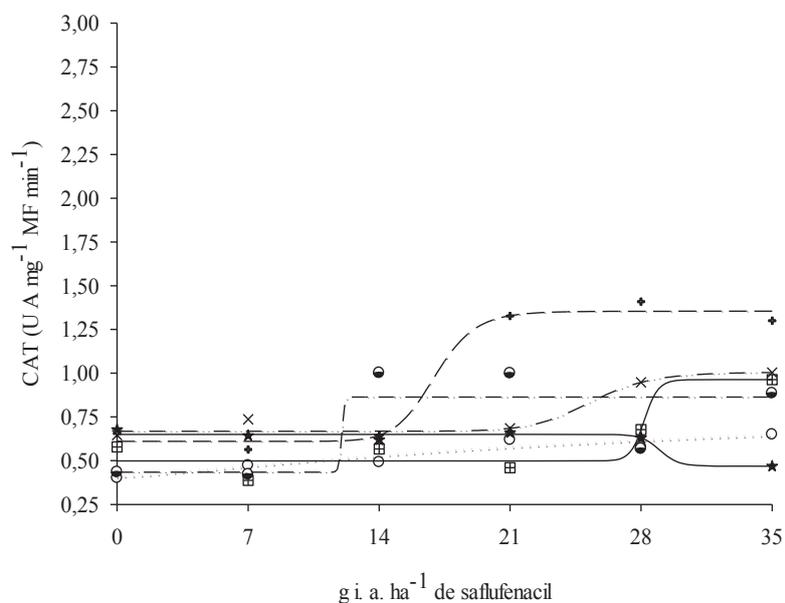


(—●—) Tec 10  $y = 0,94 + 0,41[1 + ((x/14,06)^{-50,99})]$   $R^2 = 0,94$   
 (..●..) Fundacep 52  $y = 0,91 + 0,09[1 + (x/6,64)^{21,18}]$   $R^2 = 0,58$   
 (—★—) BRS Marcante  $y = 0,93 + 0,47[1 + (x/27,08)^{-78,63}]$   $R^2 = 0,58$   
 (—■—) BRS Parrudo  $y = 0,71 + 39,63[1 + (x/13905233,18)^{-0,35}]$   $R^2 = 0,54$   
 (—×—) Jadeite 11  $y = 0,93 + 301,19[1 + ((x/91,95)^{7,29})]$   $R^2 = 0,90$   
 (—→—) ORS Vintecinco  $y = 0,86 + 354,29[1 + (x/443,67)]$   $R^2 = 0,96$

Figura 15- Atividade da catalase (CAT) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas as 48 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.

Para a última avaliação realizada a 80 HAA, a atividade da CAT foi mínima para a maioria das cultivares de trigo, exceto para a ORS Vintecinco que apresentou comportamento fora do esperado. A redução de atividade de CAT, pode ter sido, devido à inibição da enzima síntese ou à modificação na montagem de subunidades da

enzima sob condições do estresse gerado pelo herbicida (ABEDI & PAKNIYAT, 2010).



- (▣)Tec 10  $y = 0,50 + 0,46[1 + ((x/28,17)^{76,15})]$   $R^2 = 0,88$   
 (⊙)Fundacep 52  $y = 0,40 + 0,42[1 + (x/29,03)^{-1,27}]$   $R^2 = 0,90$   
 (★)BRS Marcante  $y = 0,47 + 0,18[1 + (x/29,01)^{58,63}]$   $R^2 = 0,58$   
 (⊠)BRS Parrudo  $y = 0,71 + 39,63[1 + (x/13905233,18)^{-0,35}]$   $R^2 = 0,54$   
 (⊗)Jadeite 11  $y = 0,93 + 301,19[1 + ((x/91,95)^{7,29})]$   $R^2 = 0,90$   
 (→)ORS Vintecinco  $y = 0,61 + 74,29[1 + (x/16,97)^{-15,64}]$   $R^2 = 0,99$

Figura 16- Atividade da catalase (CAT) em cultivares de trigo em resposta ao uso do herbicida saflufenacil, avaliadas 80 horas após a aplicação (HAA). FAMV/UPF, Passo Fundo/RS, 2015.

Entretanto, para a cultivar ORS Vintecinco, o aumento da CAT pode ter sido decorrente das características genética da cultivar ou devido ao estresse mecânico, durante a coleta das folhas após o tratamento (XAVIER, 2014). Langaro et al., (2016), verificaram que

em arroz a máxima atividade da CAT 120 HAA tratadas com bentazon. Segundo os autores, tal resultado se deve ao rápido acúmulo de  $H_2O_2$  observado em produtos com ação de contato. Contudo, o estresse pode ativar a morte celular programada devido à peroxidação lipídica de membranas, oxidação de proteínas, inibição enzimática e danos ao DNA e RNA (MAEDA & DELLAPENNA, 2013). Além disso, CAT é uma enzima altamente eficiente podendo atuar sobre o peróxido de hidrogênio produzido antes dele difundir-se para outras partes da célula, transformando o  $H_2O_2$  em oxigênio e água (GARG & MANCHANDA, 2009).

Com relação à atividade das enzimas SOD, APX e CAT, a diferença pode estar relacionada com o herbicida, à dose e à espécie de planta, em que o funcionamento antioxidante aumenta a atividade das enzimas (TAUROCO, 2014). Contudo, a variabilidade da resposta à ação herbicida depende de vários fatores, tais como a espécie, ingrediente ativo, a concentração, as condições ambientais, período de avaliação, tecido e idade da planta, bem como isoformas da enzima (NOHATTO et al., 2016).

Assim, a seletividade de herbicidas é baseada na capacidade da planta para metabolizar rapidamente a molécula herbicida, formando compostos não-fitotóxicos (OLIVEIRA JR & INOUE, 2011). Nesse sentido, a ocorrência do estresse oxidativo está diretamente relacionada com a fitotoxicidade visual constatada em cultivares de trigo pois a fitotoxicidade provocada pelo uso de controle químico herbicida acontece devido, principalmente, ao aumento de EROs (NOHATTO et al., 2016).

#### 4 CONCLUSÕES

O teor de  $H_2O_2$  em cultivares de trigo não é alterado pelo uso de saflufenacil. A atividade das enzimas antioxidantes é estimulada pelo aumento da dose e varia de acordo com a dose do herbicida e época de avaliação.

As cultivares Fundacep 52, BRS Marcante, Jadeíte 11 e ORS Vintecinco apresentam maior capacidade em eliminar o estresse oxidativo causado pelo herbicida saflufenacil nas doses de 7; 14; 21, 28 e 35 g i. a.  $ha^{-1}$  de saflufenacil.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a condução dos experimentos em casa de vegetação observou-se rápida recuperação dos sintomas de fitotoxicidade nas cultivares de trigo, quando aplicado nitrogênio aos sete dias após aplicação do herbicida (2015) em relação ao ano onde não foi aplicado (2014). Provavelmente a diferença de recuperação entre os experimentos está relacionada ao nitrogênio. Plantas suprimidas de nitrogênio apresentam maior capacidade de recuperação dos sintomas de fitotoxicidade, especialmente quando causado por herbicida de contato. Atualmente há uma ampla necessidade de se desenvolver e descobrir tolerância de espécies cultivadas a herbicidas não seletivos, como saflufenacil em pós-emergência, explorando estratégias, como a atuação do sistema antioxidante, em especial as enzimas SOD, APX e CAT.

Para o experimento conduzido no campo, foi possível observar que a aplicação de saflufenacil em trigo, proporciona controle de plantas daninhas Magnoliopsidas presentes na área, em especial *Poligonum convolvulus*. Com relação ao controle de plantas daninhas, realizado, semanalmente, constatou-se redução do fluxo de plantas emergentes, quando usado saflufenacil em relação à testemunha. Porém, nos tratamentos onde não foi utilizado o herbicida saflufenacil, houve um aumento significativo dessas espécies. A utilização de uma molécula herbicida com mecanismo de ação diferentes dos já utilizados na cultura do trigo, poderá contribuir para a rotação de moléculas químicas e redução na pressão de seleção de

herbicidas. Além disso, controle satisfatório de Magnolipsidas em pós-emergência.

#### 4 REFERÊNCIAS

ABEDI, T.; PAKNIYAT, H. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, Slezská, v. 46, n. 1, p. 27-34, 2010.

ADEGAS, F. S.; GAZZIERO, D. L. P.; VOLL, E. Manejo de buva resistente ao glifosato. *Revista DBO Agrotecnologia*, São Paulo, v.8, n. 31, p. 24-25, 2011.

AGOSTINETTO, D., GALON, L., MORAES, P. V. D., RIGOLI, R. P., TIRONI, S. P., & PANOZZO, L. E. Competitividade relativa entre cultivares de arroz irrigado e biótipo de capim-arroz (*Echinochloa* spp.). *Planta Daninha*, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 757-766, 2008.

AGOSTINETTO, D.; PERBONI, L. T.; LANGARO, A. C.; GOMES, J.; FRAGA, D. S.;FRANCO, J. J. Changes in Photosynthesis and Oxidative Stress in Wheat Plants Submitted to Herbicides Application. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 1-9, 2016.

AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L. **Resistência de Plantas Daninhas a Herbicidas no Brasil**. Pelotas: Editora UFPel, 2015, 398 p.

AHMAD, P. Growth and antioxidant responses in mustard (*Brassica juncea* L.) plants subjected to combined effect of gibberellic acid and salinity. *Arch Agronomy Soil Science*, Londres, v. 56, p. 575–588, 2010.

AHSAN, N., LEE, D. G., LEE, K. W., ALAM, I., LEE, S. H., BAHK, J. D., & LEE, B. H. Glyphosate-induced oxidative stress in rice leaves revealed by proteomic approach. *Plant Physiology and Biochemistry*, Paris, v.46, n. 12, p. 1062-1070, 2008.

ALVES, E. *Atividade da enzima glutationa S-transferase induzida por herbicidas e anidrido naftálico em milho e efeito do safener na germinação e vigor das sementes*. 79 p. **Tese** (doutorado em

Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

APEL, Klaus; HIRT, Heribert. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review Plant Biology*, Botucatu, v. 55, p. 373-399, 2004.

ASHIGH, J.; HALL, J.C. Bases for interactions between saflufenacil and glyphosate in plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 58, p. 7335–7343, 2010.

BARBOSA, K. B. F. et al. Estresse oxidativo: conceito, implicações e fatores modulatórios. *Revista de Nutrição*, Campinas, v. 23, n. 4, p. 629-643, jul./ago. 2010.

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

BARELA, J. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura da cana-de-açúcar (RB867515) tratada com nematicidas. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 371-378, 2006.

BASF. Anonymous, 2010. Kixor Worldwide Technical Brochure. BASF Corporation, **Research Triangle Park**, NC, 18 p.

BHATT, I.; TRIPATHI, B.N. Plant peroxiredoxins: catalytic mechanisms, functional significance and future perspectives. *Biotechnology Advances*, v. 29, p.850-859, 2011.

BELUCI, L. R.; VITORINO, R.; AZANIA, C. A. M.; AZANIA, A. P. A. M.; TORTORELLI, H. F. Utilização do perfil isoenzimático como ferramenta na avaliação da seletividade de herbicidas em cana-de-açúcar. *Nucleus*, Ituverava, v.12, n. 2, p. 157-166, 2015.

BHATTACHARJEE, S. Heat and chilling induced disruption of redox homeostasis and its regulation by hydrogen peroxide in rice (*Oryza*

*sativa* L., cv. Ratna). *Physiology Molecular Biology. Plants*, Delhi, v.19, p.199–207, 2013.

BAHTT, I.; TRIPATHI, N. B. Interaction of engineered nanoparticles with various components of the environment and possible strategies for their risk assessment. *Chemosphere*, Los Angeles, v. 82, n.3, p. 308-317, 2011.

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*, Bethesda, v. 72, p. 248-254, 1976.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 395 p.

CAMARGO, P. N. *Controle Químico: seletividade de cultivares com diferentes herbicidas*. 5. ed. São Paulo: IPEF, 1977. 168 p.

CAMARGO, E. R.; SENSEMAN, S. A.; MCCAULEY, G. N.; GUICE, J. B. Rice (*Oryza sativa* L.) response and weed control from tank-mix applications of saflufenacil and imazethapyr. *Crop Protection*, Tehran, v.31, p. 94-98, 2012.

CARVALHO, S. J. P.; MACHADO, E. C. R.; MARQUES, B.S.; SILVA, A. P. P.; LIMA, R. S. O.; COSTA, R. Atividade relativa da catalase de losna-branca (*Parthenium hysterophorus*) comparada à de outras espécies daninhas. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 395-400, 2012.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DO TRIGO- EMBRAPA TRIGO. **Clima de Passo Fundo**: Normais Climatológicas, 2014. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.org/gestor/territoriomata\\_sul\\_pernambucana/arvore/CONT000fbz2ztdp02wx5eo0sawqe3h68l5n4.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.org/gestor/territoriomata_sul_pernambucana/arvore/CONT000fbz2ztdp02wx5eo0sawqe3h68l5n4.html). Acesso em: 02 jun. 2014.

CHANDRU, H. K.; KIM, E.; KUK, Y.; CHO, K.; HAN, O. Kinetics of wound-induced activation of antioxidative enzymes in *Oryza sativa*: differential activation at different growth stages. *Plant Science*, Watsonville, v. 164, p.935– 941, 2003.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-Observatório Agrícola. *Acompanhamento da safra brasileira de grãos (safra 2015/16)*. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em 6 de janeiro de 2016.

CORRÊA, M. J. P.; ALVES, P. L. C. A. Efeitos da aplicação de herbicidas sobre a eficiência fotoquímica em plantas de soja convencional e geneticamente modificada. **Ciência Agrotecnologia**, vol.34 no.5 Lavras set./out. 2010. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000500009>.

CORREIA, N. M.; GOMES, L. J. P. Seletividade de Saflufenacil para Sorgo Sacarino e Potencial de uso do Na-Bentazon como *Safener*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 267-274, 2015.

COSTA, L. O.; RIZZARDI, M. A. Resistance of *Raphanus raphanistrum* to the herbicide metsulfuron-methyl. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, n.1, p.181-187, 2014.

COSTA, S. Í. A.; MARTINS, D.; CARDOSO, L. A.; RODRIGUES, A. C. P.; VITORINO, H. S.; MARQUES, R. P. Seletividade do herbicida saflufenacil aplicado em pós emergência em dez variedades de cana de açúcar na condição de soca. **Arquivo Instituto Biológico**, São Paulo, v.79, n.1, p.113-120, 2012.

COUTINHO, F. S. *Análise proteômica e metabolômica de soja: aspectos moleculares da tolerância a seca em plantas transgênicas expressando BiP*. 2016.102 f. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Bioquímica Aplicada da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. Principais aspectos da resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate. *Planta Daninha*, v. 21, n. 3, p. 507-515, 2003.

DAL MAGRO, T. Caracterização de *Cyperus difformis* L. resistente a herbicidas inibidores da ALS. 2009. 99 f. **Tese de Doutorado em Agronomia**- Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009.

DAL MAGRO, T.; PINTO, J. J. O.; AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; REZENDE, A.L.; LAZAROTTO, C.A. Suscetibilidade de cultivares de arroz irrigado (*Oryza sativa*) à deriva simulada do herbicida imazethapyr + imazapic. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 751-759, 2006.

DALAZEN, G. *Estratégias de controle e artropodofauna de buva (Conyza bonariensis) associada em lavoura de soja e em pastagem de inverno*. 2012. 101 f. **Dissertação de Mestrado em Agronomia**. Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

DALAZEN, G.; KRUSE, N. D. E.; MACHADO, S. L. de O. Herbicidas de uso potencial no controle de buva e sua seletividade sobre aveia e azevém. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 46, n. 4, p. 792-799, 2015.

DAL MAGRO, T. Caracterização de *Cyperus difformis* L. resistente a herbicidas inibidores da ALS. 99 f. **Tese (Doutorado em Doutorado em Agronomia)** - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009.

DAVIS, V. M.; KRUGER, G. R.; YOUNG, B. G.; JOHNSON, W. G. Fall and spring preplant herbicide applications influence spring emergence of glyphosate resistant horseweed (*Conyza canadensis*). *Weed Technology*, Lawrence, v. 24, n. 1, p. 11-10, 2010.

DAYAN, F. E., DUKE, S. O. **Handbook of Pesticide Toxicology: Protoporphyrinogen oxidase-inhibiting herbicides**. 3 ed. San Diego: Academic Press-Elsevier. 1992.658 p.

DAYAN F. E.; WATSON, S. B. Plant cell membrane as a marker for light dependent and light-independent herbicide mechanisms of action.

**Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 101, n.3, p. 182-190, 2011.

DAYAN, F. E.; DUKE, S. O. Natural Compounds as Next-Generation Herbicides. **Plant Physiology**, November 2014, Vol. 166, pp. 1090–1105.

DE GOES MACIEL, C. D.; MORAES, D. W.; BALAN, M. G. Associação de adjuvantes com herbicidas na dessecação e no controle em pós-emergência de plantas daninhas na cultura do trigo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 3, 243-256, 2011.

DE MORI, C.; IGNACSAK, J. C. Aspectos econômicos do complexo agroindustrial do trigo. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da (Eds.) **Trigo no Brasil**: bases para a produção competitiva e sustentável. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p.41-76.

DEL LONGO, O. T.; GONZÁLEZ, C. A.; PASTORI, G. M.; TRIPPI, DINAKARA, C.; DJILIANOV, D.; BARTELS, D. Photosynthesis in desiccation tolerant plants: Energy metabolism and antioxidative stress defense. **Plant Science**, Watsonville, v. 182, p. 29-41, 2012.

DEL LONGO, O. T.; GONZÁLEZ, C. A.; PASTORI, G. M.; TRIPPI, V. S. Antioxidant defenses under hyperoxygenic conditions in leaves of two lines of maize with differential sensitivity to drought. **Plant and Cell Physiology**, Ikoma, v. 34, n. 7, p. 1023-1028, 1993.

DIPIERRO, N.; MONDELLI, D.; PACIOLLA, C.; BRUNETTI, G.; DIPIERRO, S. Changes in the ascorbate system in the response of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) roots to aluminum stress. **Journal of Plant Physiology**, Serbia, v. 162, p. 529-536, 2005.

DOW AGROCIENCIAS. **Boas Práticas Agrícolas**: Manejo Integrado de Pragas, cultura Trigo. Disponível: [http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh\\_096d/0901b8038096dc25.pdf?filepath=productsafety/pdfs/noreg/233](http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_096d/0901b8038096dc25.pdf?filepath=productsafety/pdfs/noreg/233). Acesso em: 6 janeiro 2016.

DUBEY, R. S. *Metal toxicity, oxidative stress and antioxidative defense system in plants*. In: GUPTA, S. D. Reactive oxygen species

and antioxidants in higher plants. *Science Publishers*, Wuhan, v. 9, p. 178-203, 2011.

EKMEKCI, Y.; TERZIOGLU, S. Effects of oxidative stress induced by paraquat on wild and cultivated wheats. *Pesticide Biochemistry Physiology*, Massachusetts, v. 83, n. 1, p. 69-81, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ed. Embrapa. 2006. 306 p.

PIRES, J. L. F.; VARGAS, L. CUNHA, G. R. **Trigo no Brasil**: bases para produção competitiva e sustentável. / editores técnicos- Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 201. **Manejo e controle de plantas daninhas em trigo**. Leandro Vargas e Mario Antonio Bianchi, CP.10.P 253-263. 488 p.

FERREIRA, L. C. Ação protetora do óxido nítrico em plantas de soja (*Glycine max* L. Merrill) submetidas ao lactofen. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Instituto de Ciências Biológicas**. Botucatu/SP. 2007.172 p.

FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F.; FRANÇA, A. C.; GALON, L.; CONCENÇO, G.; FERREIRA, F. A.; ASPIAZÚ, I.; SILVA, A. A. Efeitos de períodos de competição nas características morfológicas de grãos de soja. *Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas*, Chapadinha, v. 3, n. 2, p. 53-60, 2009.

FERREIRA, L. C.; CATANEO, A. C.; REMAER, L. M. R.; CORNIANI, N.; FUMIS, T. de F.; SOUZA, Y. A.; SCAVRONI, J.; SOARES, B. J. A. Nitric oxide reduces oxidative stress generated by lactofen in soybean plants. *Pesticide Biochemistry Physiology*, Massachusetts, v. 97, n. 1, p. 47-54, 2010.

FONTANA, L. C., AGOSTINETTO, D., PINTO, J. J. O., RIGOLI, R. P., FIGUEREDO, S. S.; ROSENTHAL, M. D. Tolerância de cultivares de arroz irrigado (*Oryza sativa*) ao herbicida nicosulfuron e à mistura formulada de imazethapyr+ imazapic. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 791-798, 2007.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signaling. *New Phytologist*, Bristol, v. 146, p. 359-388, 2000.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of agricultural commodity markets 2015-16**. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i6212e.pdf>. Acesso em 24 de novembro de 2015.

FRAGA, D. S. *Resposta de Lolium multiflorum Lam. aos herbicidas inibidores da enzima ACCase*. 2012. 77 f. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas.

FRIHAUF, J. C.; STAHLMAN, P. W.; GEIER, P. W. Winter wheat and weed response to postemergence saflufenacil alone and in mixtures. *Weed Technology*, Lawrence, v. 24, n. 3, p. 262-268, 2010.

GALON, L.; TIRONI, S.P.; ROCHA, P.R.R.; CONCENÇO, G.; SILVA, A.F.; VARGAS, L.; SILVA, A.A.; FERREIRA, E.A.; MINELLA, E.; SOARES, E.R.; FERREIRA, F.A. Habilidade competitiva de cultivares de cevada convivendo com azevém. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 771-781, 2011.

GARG, N.; MANCHANDA, G. ROS generation in plants: boon or bane. *Plant Biosystems*, Abingdon, v. 143, p. 81-96, 2009.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, Paris, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.

GREEN, G.; STREIBIG, J. C. Dose-response curves and statistical models. In: Streibig, J.C.; P. Kudsk. *Herbicide Bioassays*. Boca Raton: CRC Press, 1993. p. 29–55.

GREGGAINS, V.; FINCH-SAVAGE, W.E.; QUICK, W.P.; ATHERTON, N.M. Metabolism-induced free radical activity does not contribute significantly to loss of viability in moist-stored recalcitrant seeds of contrasting species. *New Phytologist*, v.148, p.267-276, 2000.

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

GROSSMANN, K.; NIGGEWEG, R.; CHRISTIANSEN, N.; LOOSER, R.; EHRHARDT, T. The herbicide saflufenacil (KixorTM) is a new inhibitor of protoporphyrinogen IX oxidase activity. *Weed Science*, Lawrence, v. 58, n. 1, p. 1-9, 2010.

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

HEAP, I. **International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. Disponível em [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org). Acessado em 12/03/2016.

HUSEYNOVA, I. M.; ALIYEVA, D. R.; ALIYEV, J. A. Subcellular localization and responses of superoxide dismutase isoforms in local wheat varieties subjected to continuous soil drought. *Plant Physiology and Biochemistry*, Massachusetts, v.81, p. 54-60, 2014.

INFORMAÇÕES TÉCNICAS PARA TRIGO E TRITICALE – **Safra 2015** / VIII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. Embrapa, 2015.

JIANG, L.; YANG, H. Prometryne-induced oxidative stress and impact on antioxidant enzymes in wheat. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Bethesda, 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*, Bethesda, v.127, p. 87–94, 2016.

JUNG, H. I.; KUK, Y. I.; BACK, K.; BURGOS, N. R. Resistance pattern and antioxidant enzyme profiles of protoporphyrinogen oxidase (PROTOX) inhibitor-resistant transgenic rice. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, Massachusetts, v. 91, n. 1, p. 53-65, 2008.

KARUPPANAPANDIAN, T.; MONN, J. C.; KIM, C.; KIM, W. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. *Australian Journal of Crop Science*, Brisbane, v. 5, n. 6, p. 709-725, 2011.

KENYON, W. H.; DUKE, S. O. Effects of acifluorfen on endogenous antioxidants and protective enzymes in cucumber (*Cucumis sativus* L.) cotyledons. *Plant Physiology*, v. 79: 862-866, 1985.

KHALIQ, A.; MATLOOB, A.; ASLAM, F.; KHAN, M. Influence of wheat straw and rhizosphere on seed germination, early seedling growth and biochemical attributes of *Trianthema portulacastrum*. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 523-533, 2011.

KLEIN, M.; BURLA, B.; MARTINOIA, E. The multidrug resistance-associated protein (MRP/ABC) subfamily pf ATP- binding cassette transportes in plant. **FEBS Letters**, Heidelberg, v. 580, p. 1112-1122, 2006.

KNEZEVIC, S. Z.; DATTA, A.; SCOTT, J.; CHARVAT, L. D. Tolerance of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) to pre-emergence and postemergence application of saflufenacil. **Crop Protection**, Tehran, v. 29, n. 2, p. 148-152, 2010.

KUMARESAN, V.; GNAM, A. J.; PASULETI, M.; ARASU, M. V.; ALDHABI, N. A. HARIKRISHNAN, R. AROCKIARA, J. J. Comparative an analysis of Cs/Cu/ZnSOD defense role by molecular characterization: Gene expression.- enzyme activity protein level. **Gene Journal**, Minnesota, v. 564, n. 1, p. 53-62. 2015.

LAMEGO, F. P.; RUCHEL, Q.; KASPARY, T. E.; GALLON, M.; BASSO, C. J.; SANTI, A. L. Habilidade competitiva de cultivares de trigo com plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 3, 521-531, 2013.

LANGARO, A. C.; AGOSTINETTO, D.; OLIVEIRA, C.; SILVA, J. D. G.; BRUNO, M. S. Alterações Bioquímicas e Fisiológicas em Plantas de Arroz Devido à Aplicação de Herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 277-289, 2016.

LI, H.; YI, H. Effect of sulfurdioxide on ROS production gene expression and antioxidant enzyme activity in Arabidopsis plants. **Plant Physiology Biochemisty**, Paris, v. 58, p. 46–53, 2012.

LIEBL, R., H. WALTER, S. J. BOWE, T. J. HOLT, AND D. E. WESTBERG. 2008. BAS 800H: a new herbicide for preplant burndown and preemergence dicot weed control. **Weed Science Society of America Conference**, Lawrence, Abstract 120.

LOCATO, V.; PARADISO, A.; PINTO, M. C.; GARA, L. Reactive oxygen species and ascorbateglutathione interplay in signaling and stress responses. **Enfi eld**: Science Publishers, 2010. p.45-64.

LOPEZ-MAURY, L.; MARGUERAT, S.; BAHLER, J. Tuning gene expression. To changing environments: from rapid responses to evolutionary adaptation. *Natura Review Genetics*, Londres, v. 9, p. 583-593, 2008.

LYDON, J.; DUKE, S. O. Pesticide effects on secondary metabolism of higher plants. *Pesticide Science*, Tokyo, v. 25, p. 361-373, 1989.

MAEDA H.; DELLAPENNA, D. Tocopherol functions in photosynthetic organisms. *Current Opinion in Plant Biology*, Massachusetts, v.10, p. 260-265, 2007.

MAIA, J. M.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VOIGT, E. L.; DE MACEDO, C. E. C.; PONTE, L. F. A.; SILVEIRA, J. A. G. Atividade de enzimas antioxidantes e inibição do crescimento radicular de feijão caupi sob diferentes níveis de salinidade. *Acta Botanica Brasilica*, Belo Horizonte, v. 26, n. 2, p. 342-349. 2012.

MAPA. Ministério da Agricultura e Abastecimento. *Panorama do Trigo 2015*. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/trigo>. Acesso em 13 de janeiro de 2016.

MAPA-Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. *Banco de informações sobre os produtos agrotóxicos e afins registrados*. Brasília, 2016. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/servicos-e-sistemas/sistemas/agrofit>. Acesso em 21 de março de 2016.

MEROTTO JR., A.; VIDAL, R. A. Herbicidas inibidores da PROTOX. In: VIDAL, R. A.; MEROTTO Jr., A. (Eds.). *Herbicidologia*. Porto Alegre: Evangraf, 2001. p. 138-148.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Plant Science*, Watsonville, v. 7, n. 9, p. 405-410, 2002.

MONTGOMERY, G. B; BOND, J .A.; GOLDEN, B. R; GORE, J.; EDWARDS, H. M.; EUBANK T. W.; WALKER, T. W. Evaluation of

saflufenacil in drill-seeded rice (*Oryza sativa*). *Weed Technoogy*, Champaign, v. 28, p. 660–670, 2014.

MOREIRA, M. S.; MELO, M. S. C. de; CARVALHO, S. J. P. de; CHISTOFFOLETI, P. J. Crescimento diferencial de biótipos de *Conyza* spp. resistente e suscetível ao herbicida glyphosate. *Bragantia*, Campinas, v. 69, n. 3, p. 591-598, 2010.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts, *Plant Cell Physiology*, Ikoma, v. 22, p. 867-880, 1981.

NOHATTO, A. M.; AGOSTINETTO, D.; LANGARA, A. C.; OLIVEIRA, DE C.; RUCHEL, Q. Antioxidant activity of rice plants sprayed with herbicides. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 46, n. 1, p. 28-34, 2016.

OLIVEIRA JR, R. S.; INOUE, M. H. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: OLIVEIRA JR, R. S.; INOUE, M. H.; CONSTANTIN, J. *Biologia e Manejo de Plantas Daninhas*: Curitiba: Omnipax, 2011. p. 243-262.

OLIVEIRA JR, R. S. Mecanismo de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Ed.). *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 141-192.

OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J. *Plantas Daninhas e seu Manejo*. Guaíba: Editora Agropecuária, 2001. 362 p.

OLIVEIRA NETO, A. M.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S.; GUERRA, N.; BRAZ, G. B. P.; VILELA, L. M. S.; BOTELHO, L. V. P.; ÁVILA, L. A. Sistemas de dessecação em áreas de trigo no inverno e atividade residual de herbicidas na soja. *Revista Brasileira de Herbicidas*, Maringá, v.12, n.1, p.14-22, 2013.

PASTORI, G. M.; FOYER, C.H. Common components, networks, and pathways of cross-tolerance to stress. The central role of “redox”

and abscisic acid-mediated controls. *Plant Physiology*, Madson, v. 129, p. 460-468, 2002.

PAULA, J. M.; VARGAS, L.; AGOSTINETTO, D.; NOHATTO, M. A. Manejo de *Conyza bonariensis* resistente ao glyphosate. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 217-227, 2011.

PEIXOTO, P. H. P. Aluminum effect on lipid peroxidation and on the activities of superoxide dismutase and catalase in the cerebral hemisphere and liver of young chicks. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, Pau, v. 11, n. 2, p. 77-82, 1997.

PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; DA CUNHA, G. R. **Trigo no Brasil:** Bases para produção competitiva e sustentável. Editora Embrapa, 488 p., 2011.

PIRES, N. M.; OLIVEIRA, V. R. Alelopatia. In: OLIVEIRA JR, R. S.; INOUE, M. H.; CONSTANTIN, J. *Biologia e Manejo de Plantas Daninhas*: Curitiba: Omnipax, 2011. p. 95-123, 2011.

PITELLI, R. A. *Competição e controle de plantas daninhas em áreas agrícolas*. Piracicaba: *Série Técnica IPEF*, v. 4, n. 12, p. 1 – 24, 1987.

POLLE, A. Dissecting the superoxide dismutase-ascorbate-glutathione-pathway in chloroplasts by metabolic modeling. Computer simulations as a step towards flux analysis. *Plant Physiology*, Rockville, v.126, p.445-462, 2001.

POWLES, S. B.; YU, Q. Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annual Review Plant Biology*, Palo Alto, v. 61, n. 1, p. 317-347, 2010.

RADETSKI, C.M., COTELLE, S., FÉRARD, J.F. Classical and biochemical endpoints in the evaluation of phytotoxic effects caused by the herbicide trichloroacetate. *Environ. Exp. Bot.*, v. 44, p.221-9, 2000.

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE. Informações técnicas para trigo e triticales –

safra 2012. Dourados, MS: **Embrapa Agropecuária Oeste, 2011.** 204 p.

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE. **Informações técnicas para trigo e triticales – safra 2015.** 8ª edi. Brasília, DF, 2014. 230 p.

RIZZARDI, M. A.; VARGAS, L.; ROMAN, E. S.; KISSMANN, K. Aspectos gerais do manejo e controle de plantas daninhas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas.** Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p.105-144.

RIZZARDI, M. A.; FLECK, N. G.; AGOSTINETTO, D., BALBINOT JR, A. A. Ação de herbicidas sobre mecanismos de defesa das plantas aos patógenos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 5, p. 957, out, 2003.

RIZZARDI, M. A.; FLECK, N. G., VIDAL, R. A.; MEROTTO JR, A.; AGOSTINETTO, D. Competição por recursos do solo entre ervas daninhas e culturas. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, 707-714, 2001.

ROLAS-Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Comissão de Química e Fertilidade do Solo.** - 10. ed. Porto Alegre, 2004, 401 p.

SANTOS, J. C. *Efeito da época de aplicação de herbicidas sulfoniluréias no controle de azevém anual na cultura do trigo.* 2012. 40 f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia- Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Sinop, 2012.

SANTOS, F. M.; VARGAS, L.; CHISTOFFOLETI, P. J.; MARTIN, T. N.; MARIANI, F.; SILVA, D. R. O. Herbicidas alternativos para o controle de *Conyza sumatrensis* (Retz.) E. H. Walker resistentes aos inibidores da ALS e EPSPs. **Revista Ceres**, Viçosa, vol.62 no. 6 Viçosa Nov./Dec. 2015.

SBCPD. SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS-SBCPD. Procedimentos para a instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. **SBCPD** Londrina: SBCPD, 1995.

SILVA, D. R.; AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L.; LANGARO, A. C.; DUARTE, T. V.. Habilidade competitiva, alterações no metabolismo secundário e danos celulares de soja competindo com *Conyza bonariensis* resistente e suscetível a Glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 579-589, 2014.

SOUZA, G. S. F.; VITO RINO, H.S.; FIOREZE, A.C. L.; PEREIRA, M.R.R.; MARTINS, D. Seletividade de herbicidas na cultura de crambe. **Semina; Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, p.161, 2014.

SCANDALIOS, J. G.; ACEVEDO, A.; RUZSA, S. Catalase gene expression in response to chronic high temperature stress in maize. **Plant Science**, Watsonville, v. 156, p.103- 110, 2000.

SEEFELDT, S. S.; JENSEN, J. E.; FUERTS, E. P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. **Weed Technology**, Boca Raton, v. 9, n. 2, p. 218-227, 1995.

SERKEDJIEVA, J. Antioxidant effects of plant polyphenols: a case study of a polyphenol-rich extract from *Geranium sanguineum* L. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. **Science Publishers**, Wuhan, v. 13, p. 275-293, 2011.

SHARMA, P.; DUBEY, R. S. Ascorbato peroxidase from rice seedlings: properties of enzymes isoforms, effects of stresses and protective roles of osmolytes. **Plant Science**, Watsonville, v. 167, p. 541-550, 2004.

SHARMA, P. JHA, A. B.; DUBEY, S. R.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, Peshawar, v., 2012, p.1-26, 2012.

SIKKEMA, P. H.; SHROPSHIRE, C.; SOLTANI, N. Tolerance of spring barley (*Hordeum vulgare* L.), oats (*Avena sativa* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) to saflufenacil. *Crop Protection*, Tehran, v. 27, n. 12, p. 1495–1497, 2008..

SILVEIRA, H. M.; SILVA, D. V.; SANTOS, J. B.; CASTRO NETO, M. D.; FERREIRA, E. A.; CARVALHO, F. P.; SILVA, A. A.; SEDIYAMAT. Sensibilidade de cultivares de mandioca ao herbicida mesotrione. *Revista Brasileira de Herbicidas*, Maringá, v. 11, n. 1, p. 24-31, 2012.

SOARES, A. M. S.; MACHADO, O. L. T. Defesa de plantas: Sinalizacao química e espécies reativas de oxigênio. *Revista Tropica Ciências Agrarias e Biológicas*, Chapadinha, v. 1, n. 1, p. 9, 2007.

SOLTANI, N.; SHROPSHIRE, C.; SIKKEMA, P. H. Sensitivity of leguminous crops to saflufenacil. *Weed Technology*, Lawrence, v. 24, n. 2, p. 143-146, 2009.

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*, Oxford, v. 68, n. 9, p. 1779-1787, 2007.

STRATMANN, J. Ultraviolet-B radiation co-opts defense signaling pathways. *Trends in Plant Science*, Londres, v. 8, p. 526-533, 2003.

STREIBIG, J. C.; COMBELLACK, J. H.; PRITCHARD, G. H.; RICHARDSON, R. G. Estimation of thresholds for weed control in Australian cereals. *Weed Research*, Boca Raton, v. 25, n. 8, p. 114-121, 1993.

TAUROCO, P. C.. Respostas morfofisiológicas à competição entre trigo e azevém e a relação com nitrogênio, temperatura, luz e

herbicidas. Universidade Federal de Pelotas. **Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade**. Pelotas, 2014.165 p.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A.; KRUSE, N. D.; SILVA, R. P.; GUSTMANN, M. S.; FRANCHIN, E. Local de absorção de fomesafen como mecanismo de resistência em biótipo de *Euphorbia heterophylla* resistente aos inibidores da PROTOX. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 139-148, 2009.

VARGAS, L.; ROMAN, E.S. Seletividade e eficiência de herbicidas em cereais de inverno. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Passo Fundo, v. 3, p. 1-10, 2005.

VERBRUGGEN, N.; HERMANS, C. Proline accumulation in plants: a review. **Amino Acids**, Vienna, v. 35, p. 753-759, 2008.

XAVIER, E. Mecanismos de resistência e resposta aos inibidores da ALS e da PROTOX em *Euphorbia heterophylla* L. 2014, 201 f. **Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica do Paraná, Pato Branco, 2014.**

WARDLAW, I. F.; MONCUR, L. The response of wheat to high temperature following anthesis. I. The rate and duration of kernel filling. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 22, p. 391 -397,1995.

WETTSTEIN, D.; GOUGH, S.; KANNANGARA, C. G. Chorophyll biosynthesis. **Plant Cell**, v. 7, p. 1039-1057, 1995.

WU, G. L.; CUI, J.; YAHNG, H. Fluroxypyr triggers oxidative damage by producing superoxide and hydrogen peroxide in rice (*Oryza sativa*). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Bethesda, v. 19, n. 1, p. 124-132, 2010.

ZHANG, J. J.; LU, C. Y.; ZANG, J. J.; TAN, L. R.; YANG, H. Accumulation and toxicological response of atrazine in rice crop. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Bethesda, v. 102, n. 1, p. 105-112, 2014.

## APÊNDICES

### APÊNDICE 1 – Resumo da análise da variância do efeito de saflufenacil sobre cultivares de trigo

Variável analisada: FITO\_3

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULT	13	22867.792842	1759.060988	70.054	0.0000
DOSE_	5	95326.598214	19065.319643	759.272	0.0000
CULT*DOSE_	65	12282.151206	188.956172	7.525	0.0000
erro	252	6327.716667	25.109987		
-----					
Total corrigido	335	136804.258929			
-----					
CV (%) =	17.99				
Média geral:	27.8482143		Número de observações:	336	

Variável analisada: FITO\_7\_

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULT	13	18989.903948	1460.761842	78.729	0.0000
DOSE_	5	60373.025149	12074.605030	650.775	0.0000
CULT*DOSE_	65	9193.712659	141.441733	7.623	0.0000
erro	252	4675.657500	18.554196		
-----					
Total corrigido	335	93232.299256			
-----					
CV (%) =	19.84				
Média geral:	21.7056548		Número de observações:	336	

Variável analisada: FITO\_14

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULT	13	5826.555710	448.196593	38.071	0.0000
DOSE	5	15202.572768	3040.514554	258.271	0.0000
CULT*DOSE	65	4845.802087	74.550801	6.333	0.0000
erro	252	2966.684167	11.772556		
Total corrigido	335	28841.614732			
CV (%) =	32.30				
Média geral:	10.6241071	Número de observações:	336		

Variável analisada: FITO\_35

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULT	13	1939.742316	149.210947	79.425	0.0000
DOSE	5	2661.482143	532.296429	283.342	0.0000
CULT*DOSE	65	1566.117803	24.094120	12.825	0.0000
erro	252	473.416667	1.878638		
Total corrigido	335	6640.758929			
CV (%) =	34.50				
Média geral:	3.9732143	Número de observações:	336		

Variável analisada: MS 35

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULT	13	10.867181	0.835937	60.017	0.0000
DOSE	5	14.970447	2.994089	214.963	0.0000
CULT*DOSE	65	7.718870	0.118752	8.526	0.0000
erro	252	3.509949	0.013928		
Total corrigido	335	37.066447			
CV (%) =	19.51				
Média geral:	0.6048482	Número de observações:	336		

## Estufa- 2015

Variável analisada: FIT\_3

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULT	5	240.673056	48.134611	47.451	0.0000
DOSE	5	377.875556	75.575111	74.502	0.0000
CULT*DOSE_	25	263.915278	10.556611	10.407	0.0000
erro	108	109.555000	1.014398		
Total corrigido	143	992.018889			
CV (%) =	30.96				
Média geral:	3.2527778	Número de observações:	144		

Variável analisada: FIT\_7

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULT	5	475.011181	95.002236	34.939	0.0000
DOSE	5	939.894514	187.978903	69.133	0.0000
CULT*DOSE_	25	431.303403	17.252136	6.345	0.0000
erro	108	293.662500	2.719097		
Total corrigido	143	2139.871597			
CV (%) =	31.23				
Média geral:	5.2798611	Número de observações:	144		

Variável analisada: FIT\_14

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULT	5	153.062292	30.612458	10.796	0.0000
DOSE	5	1442.983958	288.596792	101.777	0.0000
CULT*DOSE_	25	900.160625	36.006425	12.698	0.0000
erro	108	306.242500	2.835579		
Total corrigido	143	2802.449375			
CV (%) =	27.01				
Média geral:	6.2354167	Número de observações:	144		

Variável analisada: FIT35

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULT	5	6.042222	1.208444	2.039	0.0788
DOSE	5	105.278056	21.055611	35.526	0.0000
CULT*DOSE	25	21.105278	0.844211	1.424	0.1098
erro	108	64.010000	0.592685		
Total corrigido	143	196.435556			
CV (%) =	53.30				
Média geral:	1.4444444	Número de observações:		144	

Variável analisada: MS\_42

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULT	5	10.441906	2.088381	10.740	0.0000
DOSE	5	5.356006	1.071201	5.509	0.0001
CULT*DOSE	25	32.579503	1.303180	6.702	0.0000
erro	108	20.999850	0.194443		
Total corrigido	143	69.377264			
CV (%) =	21.14				
Média geral:	29.4425781				

## Campo 2015

Variável analisada: FIT\_3

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	4.661667	1.553889	0.750	0.5905
CULTI	1	473.763333	473.763333	228.810	0.0006
erro 1	3	6.211667	2.070556		
HERB	5	698.877500	139.775500	174.853	0.0000
CULTI*HERB	5	114.144167	22.828833	28.558	0.0000
erro 2	30	23.981667	0.799389		
Total corrigido	47	1321.640000			
CV 1 (%) =	18.45				
CV 2 (%) =	11.46				
Média geral:	7.8000000	Número de observações:		48	

Variável analisada: FIT\_7

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	34.455000	11.485000	1.090	0.4727
CULTI	1	444.083333	444.083333	42.131	0.0074
erro 1	3	31.621667	10.540556		
HERB	5	789.720000	157.944000	18.597	0.0000
CULTI*HERB_	5	318.386667	63.677333	7.498	0.0001
erro 2	30	254.783333	8.492778		
Total corrigido	47	1873.050000			
CV 1 (%) =	37.64				
CV 2 (%) =	33.79				
Média geral:	8.6250000	Número de observações:	48		

Variável analisada: FIT\_14\_

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	1.910625	0.636875	1.919	0.3029
CULTI	1	174.421875	174.421875	525.565	0.0002
erro 1	3	0.995625	0.331875		
HERB	5	105.941042	21.188208	15.170	0.0000
CULTI*HERB_	5	22.639375	4.527875	3.242	0.0186
erro 2	30	41.901250	1.396708		
Total corrigido	47	347.809792			
CV 1 (%) =	16.47				
CV 2 (%) =	33.79				
Média geral:	3.4979167	Número de observações:	48		

Variável analisada: MS\_42

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	0.296050	0.098683	0.431	0.7461
CULTI	1	2.017200	2.017200	8.816	0.0591
erro 1	3	0.686417	0.228806		
HERB	5	0.668142	0.133628	1.087	0.3876
CULTI*HERB	5	0.866225	0.173245	1.410	0.2492
erro 2	30	3.687333	0.122911		
Total corrigido	47	8.221367			
CV 1 (%) =	23.81				
CV 2 (%) =	17.45				
Média geral:	2.0091667	Número de observações:	48		

**APÊNDICE 2** – Resumo da análise da variância do capítulo II referente ao efeito de saflufenacil sobre a atividade enzimática de cultivares e trigo

Arquivo analisado: peróxido de hidrogênio

C:\Users\Fernanda\Desktop\trifatorial.dbf

-----  
Variável analisada: PEROX

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )  
-----

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR_*DOSE	25	20.983686	0.839347	0.982	0.4904
CULTIVAR_*EPOCA	20	99.456264	4.972813	5.819	0.0000
DOSE*EPOCA	20	14.508056	0.725403	0.849	0.6531
CULTIVAR_*DOSE*EPOCA	100	77.212048	0.772120	0.903	0.7257
erro	374	319.630956	0.854628		
Total corrigido	539	531.791010			
CV (%) =	27.75				
Média geral:	3.3318850	Número de observações:	540		

-----  
Variável analisada: CAT

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )  
-----

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR_*DOSE	25	9.339590	0.373584	3.107	0.0000
CULTIVAR_*EPOCA	20	6.028015	0.301401	2.507	0.0004
DOSE*EPOCA	20	5.903703	0.295185	2.455	0.0005
CULTIVAR_*DOSE*EPOCA	100	25.400135	0.254001	2.113	0.0000
erro	374	44.965776	0.120229		
Total corrigido	539	91.637220			
CV (%) =	30.85				
Média geral:	1.1237763	Número de observações:	540		

Arquivo analisado:

C:\Users\Fernanda\Desktop\apx-trifatorial.dbf

-----  
 Variável analisada: APX

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

-----

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

-----

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR_*DOSE	25	3406.676590	136.267064	2.263	0.0006
CULTIVAR_*EPOCA	20	7825.896414	391.294821	6.498	0.0000
DOSE*EPOCA	20	2508.479776	125.423989	2.083	0.0044
CULTIVAR_*DOSE*EPOCA	100	9091.411302	90.914113	1.510	0.0033
erro	374	22519.821991	60.213428		
-----					
Total corrigido	539	45352.286073			
-----					
CV   (%) =	38.14				
Média geral:	20.3477231	Número de observações:	540		

-----