

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

**RESISTÊNCIA DE *Raphanus raphanistrum* L. AOS  
HERBICIDAS INIBIDORES DA ENZIMA  
ACETOLACTATO SINTASE (ALS/AHAS)**

**LEANDRO OLIVEIRA DA COSTA**

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, abril de 2013

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

**RESISTÊNCIA DE *Raphanus raphanistrum* L. AOS  
HERBICIDAS INIBIDORES DA ENZIMA  
ACETOLACTATO SINTASE (ALS/AHAS)**

**LEANDRO OLIVEIRA DA COSTA**

**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, abril de 2013



FAMV - Faculdade de  
Agronomia e Medicina Veterinária  
PPGAgro - Agronomia

ppgAgro

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação.

“Resistência de *Raphanus raphanistrum* L. aos herbicidas  
inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS/AHAS)”

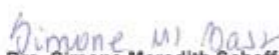
Elaborada por

Leandro Oliveira da Costa

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em  
Agronomia – Área de Produção Vegetal

Aprovada em: 12/04/2013  
Pela Comissão Examinadora

  
Dr. Mauro Antônio Rizzardi  
Presidente da Comissão Examinadora  
Orientador

  
Dra. Simone Meredith Scheffer Basso  
Coord. Prog. Pós-Graduação em Agronomia

  
Dr. Mário Antônio Bianchi  
CCGL

  
Dr. Hélio Carlos Rocha  
Diretor FAMV

  
Dra. Fabiane Lamago  
UFPEl

CIP – Catalogação na Publicação

---

C837r Costa, Leandro Oliveira da  
Resistência de *Raphanus raphanistrum* L. aos herbicidas  
inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS/AHAS) / Leandro  
Oliveira da Costa. – 2013.  
114 f. : il., color. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de  
Passo Fundo, 2013.

Orientação: Prof. Dr. Mauro Antônio Rizzardi.

1. Plantas daninhas - Controle. 2. Plantas – Efeito dos  
herbicidas. 3. Herbicidas - Aplicação. I. Rizzardi, Mauro Antônio,  
orientador. II. Título.

CDU: 632.51

---

Catalogação: Bibliotecária Daniele Rosa Monteiro - CRB 10/2091

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Leandro Oliveira da Costa, filho de Pedro Marques da Costa e Maria Ivanir Oliveira da Costa, nasceu aos oito dias do mês de fevereiro de 1982, no município de Jari, estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Formado em Agronomia pela Universidade de Passo Fundo - UPF, em fevereiro de 2011.

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 2011, sob orientação do Prof. Dr. Mauro Antônio Rizzardi.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela proteção e apoio nos momentos difíceis, superação das dificuldades, forças para lutar pelos meus sonhos e alegria pelas minhas conquistas.

Aos meus pais, Pedro e Maria Ivanir por terem me concebido e ensinado valores como honestidade, respeito, disciplina e perseverança. Obrigada pelo amor e carinho em todos os momentos que precisei.

À esposa Roseli Silva, por ter sido companheira e incentivadora nessa caminhada, obrigado pelo amor e compreensão.

À UPF e a Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária pela estrutura necessária a elaboração e condução dos trabalhos.

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

Ao orientador, Prof. Dr. Mauro Rizzardi pelo conhecimento transmitido e amizade, obrigado.

À Doutoranda Alana Cristina Dorneles Wandscheer, da UFSM, pelo auxílio na realização de parte desse trabalho.

Aos professores do PPGAgro pelo conhecimento gerado e amizade.

Ao graduando em agronomia Lucas Fraron pelo auxílio de trabalhos de campo e amizade.

Aos meus irmãos pelo carinho, ajuda e amizade.

Enfim, a todos os amigos e colegas que de uma forma ou de outra, sempre estiveram auxiliando para que eu chegasse até aqui.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xii
<b>RESUMO</b> .....	15
<b>ABSTRACT</b> .....	17
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	19
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	22
<b>CAPÍTULO I</b> .....	34
<b>RESUMO</b> .....	34
<b>ABSTRACT</b> .....	35
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	37
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	40
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	44
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	55
<b>CAPÍTULO II</b> .....	56
<b>RESUMO</b> .....	56
<b>ABSTRACT</b> .....	57
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	59
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	62
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	66
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	73
<b>CAPÍTULO III</b> .....	74
<b>RESUMO</b> .....	74
<b>ABSTRACT</b> .....	75
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	77
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	80
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	86
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	100
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	101
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	103



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>		<b>Página</b>
<b>CAPÍTULO I</b>		
1	Dose necessária para controlar 50% das plantas em relação às plantas não tratadas (DL <sub>50</sub> ) e fator de resistência (F) dos biótipos resistente (R) e suscetível (S) de <i>R. raphanistrum</i> aos 14 e 35 dias após aplicação (DAA) de metsulfurom metílico. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	47
2	Dose necessária para reduzir a matéria seca das plantas em 50% em relação às plantas não tratadas (GR <sub>50</sub> ) e fator de resistência (F) dos biótipos resistente (R) e suscetível (S) de <i>R. raphanistrum</i> aos 14 e 35 dias após aplicação (DAA) de metsulfurom metílico. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	51
3	Dose necessária para reduzir o porte das plantas em 50% em relação às plantas não tratadas (DL <sub>50</sub> ) e fator de resistência (F) dos biótipos resistente (R) e suscetível (S) de <i>R. raphanistrum</i> aos 14 e 35 dias após aplicação (DAA) de metsulfurom metílico. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012 .....	54
<b>CAPÍTULO II</b>		
1	Tratamentos herbicidas e doses utilizadas no controle de <i>R. raphanistrum</i> , FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012 .....	65
2	Controle (%) de <i>Raphanus raphanistrum</i> resistente (biótipo R) e suscetível (biótipo S) ao herbicida metsulfurom metílico, 14 e 35 dias após aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012 .....	68
3	Matéria seca (%) de <i>Raphanus raphanistrum</i> resistente (biótipo R) e suscetível (biótipo S) ao	

herbicida metsulfurom metílico, 14 e 35 dias após aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	70
---	----

### CAPÍTULO III

1	Diferenças relativas de produtividade (DPR) e produtividade relativa total (PRT), para matéria seca da parte aérea, nas proporções 75/25, 50/50 e 25/75 de plantas de trigo associadas com o biótipo R. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	88
2	Índices de competitividade de trigo e biótipo R, expressos por competitividade relativa (CR), coeficientes de agrupamento relativo (K) e agressividade (A). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	88
3	Resposta do trigo à interferência com biótipo R, aos 60 dias após a emergência. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	89
4	Diferenças relativas de produtividade (DPR) e produtividade relativa total (PRT), para matéria seca da parte aérea, nas proporções 75/25, 50/50 e 25/75 de plantas de trigo associadas com o biótipo S. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	91
5	Índices de competitividade de trigo e biótipo S, expressos por competitividade relativa (CR), coeficientes de agrupamento relativo (K) e agressividade (A). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012 .....	92
6	Resposta do trigo à interferência com o biótipo S, aos 60 dias após a emergência. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	93
7	Diferenças relativas de produtividade (DPR) e produtividade relativa total (PRT), para matéria seca da parte aérea (MSPA) e área foliar (AF), nas proporções 75/25, 50/50 e 25/75 de plantas do biótipo R, associadas com o biótipo S. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012 .....	97
8	Índices de competitividade do biótipo R e biótipo	

	S, expressos por competitividade relativa (CR), coeficientes de agrupamento relativo (K) e agressividade (A). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	98
9	Resposta do biótipo R, à interferência com o biótipo S, aos 60 dias após a emergência. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	99

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	<i>Raphanus raphanistrum</i> L.: (A) forma da planta, (B) Frutos maduros e local onde rompe o segmento contendo a semente, (C) semente em forma oval, (D) forma da siliqua de <i>Raphanus sativus</i> , (E e F) formas da siliqua de <i>R. raphanistrum</i> mostrando estrangulamento entre o compartimento das sementes [Adaptado de Warwick & Francis (2005); Theisen (2008)].....	24

### CAPÍTULO I

1	Controle (%) e parâmetros da equação aos 14 dias após aplicação para os biótipos resistente (R) e suscetível (S). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	45
2	Controle (%) e parâmetros da equação aos 35 dias após aplicação para os biótipos resistente (R) e suscetível (S). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	46
3	Controle de biótipo de <i>R. raphanistrum</i> resistente e suscetível aos 14 e 35 dias após aplicação de doses crescentes de metsulfurom metílico. A dose aplicada em cada tratamento (vaso) é representada pelo número de vezes que multiplica D, sendo D a dose comercial (2,4 g i.a. ha <sup>-1</sup> ). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	48
4	Matéria seca (%) em relação à parcela sem herbicida e parâmetros da equação para os biótipos resistente (R) e suscetível (S) 14 dias após aplicação de metsulfurom metílico. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	49
5	Matéria seca (%) em relação à parcela sem herbicida e parâmetros da equação para os biótipos resistente (R) e suscetível (S) 35 dias após aplicação de metsulfurom metílico. FAMV-UPF,	

	Passo Fundo, RS, 2012.....	50
6	Redução de porte (%) e parâmetros da equação para os biótipos resistente (R) e suscetível (S) 14 dias após aplicação de metsulfurom metílico. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	52
7	Redução de porte (%) e parâmetros da equação para os biótipos resistente (R) e suscetível (S) 35 dias após aplicação de metsulfurom metílico. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	53

## CAPÍTULO II

1	Controle de biótipos de <i>Raphanus raphanistrum</i> resistente e suscetível aos 35 dias após aplicação dos herbicidas (Test.= Testemunha sem herbicida). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.....	69
---	--	----

## CAPÍTULO III

1	Produtividade relativa (PR) e total (PRT) para matéria seca da parte aérea de plantas de trigo e biótipo R, em função da proporção de plantas. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2011. (●) PR do cultivar de trigo, (■) PR do biótipo R e (▲) PRT. Linhas tracejadas representam as produtividades relativas hipotéticas, quando não ocorre interferência de uma espécie sobre a outra.....	87
2	Produtividade relativa (PR) e total (PRT) para matéria seca da parte aérea de plantas de trigo e biótipo S, em função da proporção de plantas. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2011. (●) PR do cultivar de trigo, (■) PR do competidor e (▲) PRT. Linhas tracejadas representam as produtividades relativas hipotéticas, quando não ocorre interferência de uma espécie sobre a outra.....	90
3	Produtividade relativa (PR) e total (PRT) para	

	matéria seca da parte aérea de plantas do biótipo R e biótipo S, em função da proporção de plantas. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2011. (●) PR do biótipo R, (■) PR do biótipo S e (▲) PRT. Linhas tracejadas representam as produtividades relativas hipotéticas, quando não ocorre interferência de uma espécie sobre a outra.....	95
4	Produtividade relativa (PR) e total (PRT) para área foliar ( $\text{cm}^{-2}$ ) de plantas do biótipo R e biótipo S, em função da proporção de plantas. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2011. (●) PR do biótipo R, (■) PR do biótipo S e (▲) PRT. Linhas tracejadas representam as produtividades relativas hipotéticas, quando não ocorre interferência de uma espécie sobre a outra.....	96

**RESISTÊNCIA DE *Raphanus raphanistrum* L. AOS  
HERBICIDAS INIBIDORES DA ENZIMA ACETOLACTATO  
SINTASE (ALS/AHAS)**

**LEANDRO OLIVEIRA DA COSTA<sup>1</sup>**

**RESUMO** – *Raphanus raphanistrum* L. pertence à família Brassicaceae, originária da Europa meridional, amplamente disseminada pelas regiões de clima temperado e subtropical do mundo. Planta daninha de importância econômica em campos de produção apresenta ameaças às áreas em que é semeado o trigo por ter suspeitas de resistência aos herbicidas inibidores de ALS. Com os objetivos de confirmar a resistência de *R. raphanistrum* ao herbicida metsulfurom metílico, avaliar a existência de resistência múltipla e cruzada e, conhecer a habilidade competitiva dessa planta daninha, conduziu-se experimentos em casa de vegetação, na Universidade de Passo Fundo, RS, no ano de 2011/12. Para confirmação da resistência de *R. raphanistrum* ao herbicida metsulfurom metílico, conduziu-se experimento, no qual, os tratamentos constaram do uso de biótipos resistente (biótipo R) e suscetível (biótipo S) e dez doses crescentes do herbicida. Foram avaliados controle, redução de porte e matéria seca (MS). Empregou-se regressão, utilizando modelos não lineares de ajuste da curva de dose resposta. O biótipo R foi resistente ao herbicida metsulfurom metílico. Para avaliar a existência de

---

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, aluno do mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGAgro) da FAMV/UPF, Área de Concentração em Produção Vegetal.

resistência múltipla e cruzada, assim como controle do biótipo R, realizou-se experimento em que os tratamentos constaram da combinação de biótipo R e biótipo S, 12 herbicidas (glifosato, atrazina, bentazona, 2,4-D, sulfometurom metílico + clorimuirom etílico, clorimuirom etílico, cloransulam metílico, iodosulfurom, nicossulfuron, imazetapir, metsulfurom metílico e imazapic + imazapir) e testemunha sem aplicação. Avaliaram-se controle e MS. O biótipo R possui resistência cruzada aos grupos químicos imidazolinonas, sulfoniluréias e triazolpirimidinas. O biótipo R não apresentou resistência múltipla. Os herbicidas glifosato, bentazona, atrazina e 2,4-D mostraram ser eficazes no controle do biótipo R. Para avaliar a habilidade competitiva dos biótipos R e S em relação à cultura do trigo, conduziram-se três experimentos arranjados em série de substituição: 1-trigo com biótipo R, 2- trigo com biótipo S e 3- biótipo R com biótipo S. As proporções foram: 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 e 0:100. A competitividade foi analisada por meio de diagramas aplicados a experimentos substitutivos e índices de competitividade, com avaliação da matéria seca da parte aérea e área foliar. Os biótipos R e S demonstraram habilidade competitiva superior ao trigo. A competitividade do biótipo R em relação ao biótipo S foi semelhante.

**Palavras-chave:** planta daninha, resistência cruzada, resistência múltipla, competição.



***Raphanus raphanistrum* L. RESISTANCE TO ACETOLACTATE  
SYNTHASE (ALS/AHAS) INHIBITOR HERBICIDES**

**ABSTRACT** - *Raphanus raphanistrum* L. belongs to the family Brassicaceae, native to southern Europe widely disseminated across regions of temperate and subtropical world. Weed of economic importance in production fields poses threats to areas where wheat is sown for having suspected resistance to the ALS inhibitors. With the objective of confirm the resistance *R. raphanistrum* herbicide metsulfuron methyl evaluate the existence of cross-resistance and multiple resistance and meet the competitive ability of the weed, we conducted experiments in a greenhouse at the University of Passo Fundo, in the year 2011/12. To confirm the resistance *R. raphanistrum* metsulfuron methyl herbicide, we conducted experiments in which the treatments consisted of the use of resistant biotypes (biotype R) and susceptible (biotype S) and ten increasing doses of the herbicide. We evaluated control, reduced size and dry matter (DM). Regression was using nonlinear adjustment of the dose response curve. The biotype R was resistant to the herbicide metsulfuron methyl. To evaluate the existence of cross-resistance and multiple resistance, as well as control of the biotype R was held experiment where the treatments consisted of biotype R and biotype S, 12 herbicides (glyphosate, atrazine, bentazone, 2,4-D, sulfometuron methyl + chlorimuron ethyl, chlorimuron ethyl, cloransulam methyl, iodosulfuron, nicossulfuron, imazethapyr, metsulfuron methyl and Imazapic + imazapyr) and untreated control. Evaluated control and

DM. The biotype R has cross-resistance to chemical group's imidazolinones, sulfonyleureas and triazolopyrimidines. The biotype R showed no multiple resistance. The herbicide glyphosate, bentazone, atrazine and 2,4-D shown to be effective in the control of biotype R. To assess the competitive ability of the biotypes R and biotype S in relation to the culture of wheat, were conducted three experiments arranged in replacement series: (1 - wheat with the biotype R; 2 - wheat with the biotype S; and 3 – the biotype R with the biotype S) at the following ratios: 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, and 0:100. Analyzed the competitiveness through diagrams applied to replacement and competitiveness indices with evaluation of the dry matter of shoots and area leaf. The biotype R and biotype S demonstrated superior competitive ability of wheat. The competitiveness of the biotype R compared to the biotype S was similar.

**Keywords:** weed, cross-resistance, multiple resistance, competition.

## 1 INTRODUÇÃO

*Raphanus raphanistrum* L. é uma planta originária da Europa meridional, amplamente disseminada pelas regiões de clima temperado e subtropical do mundo. Pertence à família Brassicaceae, denominada genericamente de crucíferas, pois o arranjo das quatro pétalas de suas flores tem a disposição de uma cruz. Na região sul do Brasil ocorre com mais intensidade na estação de inverno, sendo tolerante a baixas temperaturas. O florescimento é estimulado por dias longos, e por isso que no inverno há maior desenvolvimento vegetativo. Plantas emergidas na primavera ou verão encontram logo condições de florescimento, por isso a planta fica com porte reduzido e encurta seu ciclo. Quando ocorre nas lavouras de trigo, na região sul, pode estar presente ainda na época da colheita. Em lavouras de soja, a competição é apenas inicial, pois a planta daninha fecha o ciclo antes da cultura.

A ampla variabilidade genética é uma das principais características das plantas daninhas. Ela permite a sobrevivência e adaptação de espécies em qualquer condição ambiental e a estresses provocados pelo homem. O uso contínuo de herbicidas com mesmo mecanismo de ação tem selecionado plantas daninhas resistentes, o que se torna problema grave em lavouras de produção agrícola, onde a interferência entre plantas daninhas e a cultura ocasiona perdas de produção, bem como prejuízos na qualidade de grãos.

Na Austrália, *R. raphanistrum* possui resistência múltipla aos herbicidas inibidores da enzima ALS, biossíntese de carotenoides

e auxinas sintéticas. Também possui resistência aos herbicidas inibidores do fotossistema II. Na África do Sul também é documentada a resistência dessa espécie aos herbicidas inibidores da enzima ALS (HEAP, 2013).

A resistência de plantas daninhas a herbicidas assume importância, principalmente em razão do limitado número de herbicidas alternativos para serem usados no controle dos biótipos resistentes. Resistência a herbicidas inibidores da ALS é a forma mais comum de resistência em populações de plantas daninhas em todo o mundo, indicando a relativa facilidade com que as plantas podem desenvolver resistência a estes herbicidas (WALSH et al., 2007). Além disso, o uso intensivo de herbicidas inibidores da enzima ALS tem facilitado a evolução da resistência de populações de plantas daninhas (CHEAM & CODE, 1995).

O controle químico de plantas daninhas na agricultura é prática agrícola presente em todos os sistemas de produção, tendo os herbicidas como ferramenta principal de manejo (POWLES & YU, 2010). Em determinadas lavouras de inverno, *R. raphanistrum* tem apresentado reduzido controle com o herbicida metsulfurom metílico do grupo químico das sulfoniluréias, um inibidor da enzima acetolactato sintase. Estas plantas não controladas causam ônus extra e transtornos no manejo desta espécie na cultura do trigo, uma vez que esse herbicida é uma das poucas alternativas para aplicações em pós-emergência da cultura.

Dentro do contexto de manejo integrado de resistência de plantas daninhas, o conhecimento da habilidade competitiva *R.*

*raphanistrum* resistente ou suscetível a herbicidas, é elemento básico na previsão das perdas de rendimento, causadas por essa espécie, nas culturas. Conforme Radosevich (1987) e Fleck et al. (2006) a compreensão dos fatores que influenciam o processo de competição, entre culturas e espécies daninhas, é de fundamental importância para determinar com maior segurança o momento ótimo de controle e supressão de plantas daninhas, obtendo assim, redução de custos na propriedade.

Dessa forma objetivou-se confirmar a resistência de *R. raphanistrum* ao herbicida metsulfurom metílico; avaliar a existência de resistência múltipla e cruzada e conhecer a habilidade competitiva dessa planta daninha. E, com isso, contribuir na elaboração de estratégias para manejo de biótipos de *R. raphanistrum* resistentes a herbicidas inibidores de ALS.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

O *Raphanus raphanistrum* L. é uma planta originária da Europa meridional, amplamente disseminada pelas regiões de clima temperado e subtropical do mundo. No Brasil ocorre com intensidade na Região Sul e em menor escala na região Centro Oeste. Pertence a família Brassicaceae, denominada genericamente de crucíferas, pois o arranjo das quatro pétalas de suas flores tem a disposição de uma cruz (KISSMANN, 1999). Planta herbácea, geralmente ereta, de caule ramificado, com altura variável, geralmente entre 60 a 110 cm. Durante a fase vegetativa a porção aérea do caule é pouco desenvolvida, ramificando-se intensivamente. Possui raiz pivotante e cilíndrica (LORENZI, 2006).

Iniciada a fase reprodutiva, as ramificações alongam-se para apresentar em suas porções terminais as inflorescências. As folhas são alternadas, pecioladas e com o limbo profundamente recortado até atingir ou não à nervura. Florescência terminal do tipo cacho composto, constituído por numerosas ramificações as quais comportam grande número de flores. As flores são pedunculadas, cálice com quatro sépalas, corola com quatro pétalas amarelas ou raramente branca ou roxa, geralmente com nervuras escuras ou violáceas. Frutos do tipo síliqua e cilíndrica, com estrangulamento entre o alojamento das sementes que quando maduro se divide entre as articulações quebrando em unidades que contém as sementes. As sementes são marrom avermelhado em forma oval (Figura 1)

(WARWICK & FRANCIS, 2005; MOREIRA & BRAGANÇA, 2010).

O número de cromossomos para a espécie é  $n = 9$  e  $2n = 18$ , sendo reconhecidos seis tipos morfológicos, de A até F. Entre os nove cromossomos paquíteno de *R. raphanistrum*, foi observado que o complemento haplóide continha o tipo B em duplicata e do tipo E em triplicata (KAMALA, 1983; WARWICK & FRANCIS, 2005).

Tem havido grande confusão na classificação de *R. raphanistrum* e *R. sativus*. Existem diferenças entre as duas espécies que são pontos chave para identificá-las: *R. raphanistrum* possui frutos com notável estrangulamento entre o alojamento das sementes; *R. sativus* possui frutos atenuados para a parte apical, sem estrangulamento entre o alojamento das sementes (Figura 1) (KISSMANN, 1999; THEISEN, 2008). A chave de identificação é bem esclarecida por Warwick & Francis (2005) onde também mostra essas características de *R. raphanistrum* em relação a outras espécies do mesmo gênero.

*R. raphanistrum* é uma erva daninha extremamente bem sucedida devido às suas características que incluem: germinação sob uma ampla gama de condições ambientais, ciclo de vida altamente flexível, prolífica produção de sementes e banco de sementes de longa duração. Em particular, há considerável diversidade genética dentro desta espécie de planta daninha, que permitiu o *R. raphanistrum* se adaptar em vários agroecossistemas (CHEAM & CODE, 1995; WALSH et al., 2007). No Sul do Brasil, esta planta daninha é

infestante comum em lavouras de trigo, canola e cevada, predominando, de modo geral, nos cultivos de inverno.

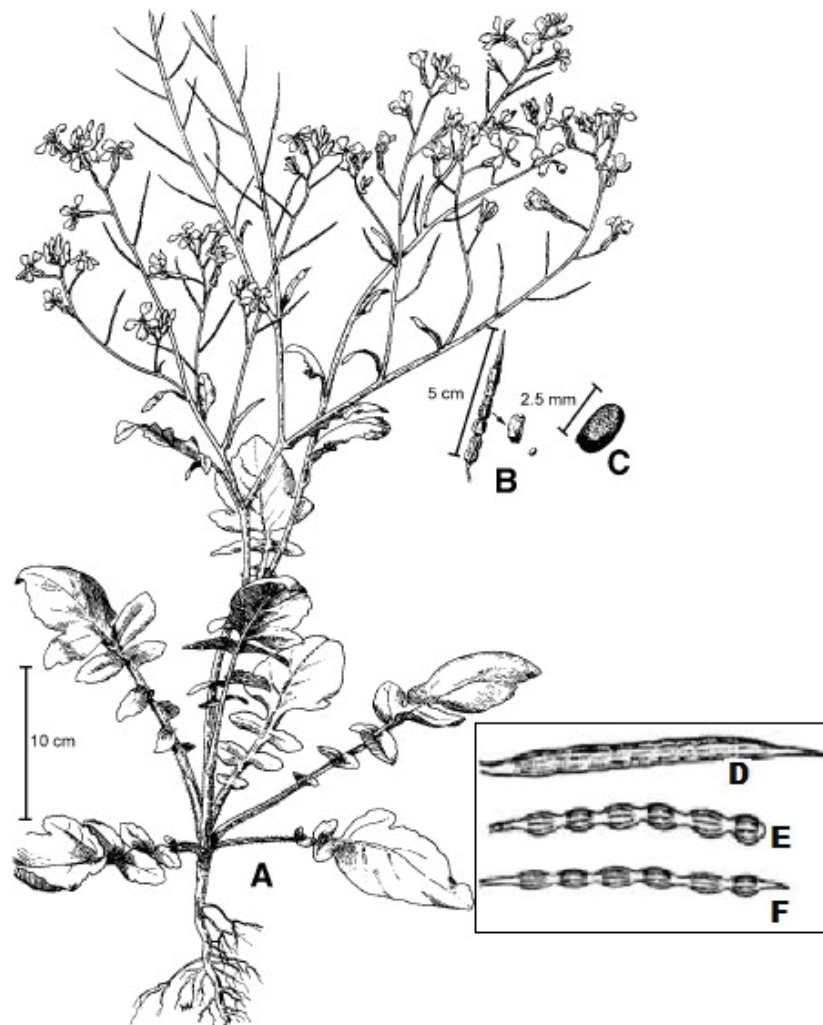


Figura 1- *Raphanus raphanistrum* L.: (A) forma da planta, (B) Frutos maduros e local onde rompe o segmento contendo a semente, (C) semente em forma oval, (D) forma da siliqua de *Raphanus sativus*, (E e F) formas da siliqua de *R. raphanistrum* mostrando estrangulamento entre o compartimento das sementes [Adaptado de Warwick & Francis (2005); Theisen (2008)].



Estudos genéticos conduzidos com *Raphanus* indicam que este gênero provavelmente seja um híbrido entre linhagens de mostardas, notadamente dos grupos *Brassica nigra* e *B. rapa oleracea*, originado em algum evento ocorrido a cerca de 5 milhões de anos. Estima-se também que *Raphanus sativus* seja uma espécie derivada de *Raphanus raphanistrum* (YANG, et al., 2002; YAMAGISHI & TERACHI, 2003; YAMANE et al., 2005; THEISEN, 2008).

*R. raphanistrum* é uma planta daninha muito agressiva, possui hábito anual ou anual de inverno e uma combinação rara de autoincompatibilidade com polinização por insetos. Possivelmente sua dormência, associado com sâmara carnosa e dura que envolve cada semente, assegura a sobrevivência durante os anos em que ocorre baixa polinização (SAMPSON, 1967). Na Região Sul do Brasil ocorre com mais intensidade na época de inverno, sendo resistente a baixas temperaturas. O florescimento é estimulado por dias longos, e por isso que no inverno há maior desenvolvimento vegetativo (KISSMANN, 1999).

*R. raphanistrum* é uma espécie que possui elevada habilidade competitiva. Isso ocorre, principalmente, devido à maior quantidade de sementes viáveis que são formadas, infestando intensamente as culturas, especialmente cereais de inverno, como o trigo, sendo o controle químico a principal forma de manejo para essas áreas (LORENZI, 2006). Herbicidas inibidores da acetolactato sintase (ALS) (sulfoniluréias, imidazolinonas e triazolpirimidinas) são amplamente utilizados para o controle de plantas daninhas em cereais

e leguminosas, bem como em pastagens. Destacam-se nesses grupos, os herbicidas sulfoniluréias, no controle de dicotiledôneas, incluindo *R. raphanistrum*, em lavouras de inverno (HASHEM et al., 2001). Herbicidas inibidores de ALS, em particular metsulfurom metílico, têm sido usado com frequência para controlar esta planta daninha na cultura do trigo e cevada (MARCHIORO & FRANCO, 2010).

Os herbicidas inibidores de ALS são amplamente utilizados devido à reduzida toxicidade em mamíferos, ampla seletividade às culturas e elevada eficácia em baixas doses (YU et al., 2003). Existe grande número de herbicidas comerciais inibidores da ALS, indicativo da importância para o controle de plantas daninhas, em um grande número de culturas (SHANER, 1999).

Estudos de modelagem sugerem que a frequência de mutação da resistência inicial para herbicidas inibidores da ALS em plantas daninha é de cerca de  $10^{-6}$  ou inferior, e o primeiro biótipo resistente pode tornar-se aparente em 5 anos após o início do uso desses herbicidas (SAARI et al., 1994). Conforme Walsh et al. (2001), a resistência se desenvolve de forma especialmente rápida aos herbicidas inibidores de ALS. Em alguns casos tem desenvolvido com apenas quatro anos de aplicações desses produtos.

No mundo, os herbicidas inibidores de ALS estão em primeiro lugar no quesito resistência de plantas daninhas, somando 131 espécies, sendo 82 dicotiledôneas e 49 monocotiledôneas (HEAP, 2013). Populações *R. Raphanistrum*, no oeste da Austrália, atualmente evoluíram a resistência a quatro mecanismos de ação herbicida (WALSH et al., 2006), ou seja: resistência aos herbicidas inibidores

de ALS (WALSH et al., 2001), inibidores de fotossistema II (HASHEM et al., 2001), mimetizadores de auxinas e inibidores da síntese de carotenóides (WALSH et al., 2004).

No Brasil, desde o surgimento do primeiro caso de resistência de *Bidens pilosa* em 1993, já foram documentadas 14 espécies resistentes aos herbicidas ALS (HEAP, 2013). Entre essas espécies, Theisen (2008) documentou biótipos de *Raphanus sativus* com resistência cruzada aos herbicidas clorimuron etílico, cloransulam metílico, imazetapir, metsulfuron metílico e nicosulfuron, não descartando a possibilidade do aparecimento de outros casos de resistência do gênero *Raphanus* aos herbicidas inibidores de ALS, principalmente nos agroecossistemas com elevada pressão de seleção imposta por esses herbicidas, especialmente, onde a ocorrência da espécie desse gênero é frequente.

Heap (2013) definiu resistência de plantas daninhas a herbicidas como “a habilidade de uma planta sobreviver e reproduzir, após exposição a uma dose de herbicida normalmente letal para o biótipo suscetível da planta”. Assim, a resistência não pode ser confundida com tolerância de plantas daninhas aos herbicidas. Christoffoleti & López-Ovejero (2008) definiram “tolerância” como característica inata da espécie em sobreviver a aplicações de herbicidas na dose recomendada, que seriam letais a outras espécies, sem alterar o crescimento e desenvolvimento. É uma característica pré-existente na planta antes mesmo da primeira aplicação do herbicida.

Se o mesmo herbicida é usado no manejo de plantas daninhas durante diversos anos agrícolas, a seleção do biótipo resistente tem maior probabilidade de ocorrência. É comum nos sistemas de monocultivo de áreas extensivas que certos herbicidas sejam preferencialmente aplicados no controle de plantas daninhas na cultura. O agricultor, muitas vezes, usa apenas um herbicida nas diversas safras agrícolas (POWLES & YU, 2010).

Embora os herbicidas sejam ferramentas extremamente eficazes de manejo, a dependência excessiva a um único mecanismo de ação, resulta na seleção de populações de plantas daninhas resistentes (TRANEL & WRIGHT, 2002). A resistência é, essencialmente, um fenômeno natural que ocorre espontaneamente em populações de plantas daninhas, mas só é notada quando ocorre a pressão de seleção através da aplicação de herbicidas pertencentes a um mesmo modo de ação (NEVILL et al., 1998). É importante destacar que o herbicida é o agente selecionador do biótipo resistente através da pressão de seleção, não sendo, portanto, o agente mutagênico responsável pelo aparecimento dos genes mutantes que surgem na população por variabilidade genética natural (RIZZARDI et al., 2002).

O aparecimento de biótipos de plantas daninhas resistentes aos herbicidas está condicionado a uma mudança genética na população, imposta pela pressão de seleção, causada pela aplicação repetitiva do herbicida na dose recomendada. Os biótipos podem apresentar níveis diversos de resistência, sendo que esses níveis podem ser quantificados mediante a  $C_{50}$  ou  $GR_{50}$  (dose do herbicida

em g i.a. ha<sup>-1</sup> necessária para proporcionar 50% de controle ou ‘C’ ou redução do crescimento ‘GR’ da planta daninha) (CHRISTOFFOLETI & LÓPEZ-OVEJERO, 2008).

De acordo com Christoffoleti et al. (2000) qualquer população em que os indivíduos mostram uma base genética variável quanto à tolerância a uma medida de controle irá, com o tempo, mudar sua composição populacional como mecanismo de fuga para sobrevivência, diminuindo a sensibilidade a esta medida de controle. Um bom exemplo foi o uso do arado, que no primeiro momento eliminou praticamente todas as plantas daninhas, mas com o passar do tempo, essas plantas foram se adaptando a nova situação e voltaram a reinfestar as culturas. Outro exemplo foi o advento do plantio direto, que a princípio provocou uma redução drástica da incidência de plantas daninhas, porém, mais tarde, houve uma seleção de espécies que se adaptaram a germinação na nova condição e hoje o controle é tão necessário quanto no sistema convencional. Isto é consequência do papel de seleção natural.

Na maioria das espécies, a resistência é transmitida pelo pólen (como por exemplo, resistência aos herbicidas inibidores de ALS), podendo atingir muitas plantas, e assim ser propagada mais depressa. Em espécies alógamas existe maior probabilidade de ocorrência de múltiplos mecanismos de resistência, pois a polinização cruzada permite maior recombinação gênica (CHRISTOFFOLETI & LÓPEZ-OVEJERO, 2008).

A diversidade genética é de fundamental importância no desenvolvimento da resistência, algumas espécies possuem mutações

gênicas naturais, conferindo resistência a uma classe de herbicidas antes mesmo que ela seja aplicada no campo. Isso é possível por que essas mutações gênicas estão presentes aleatoriamente nas populações de plantas, sendo perceptível a partir da seleção realizada através da aplicação de um determinado herbicida. Muitas vezes a característica de resistência, ao ser disseminado através do pólen e das sementes, aumenta o fluxo gênico, conferindo resistência às áreas adjacentes (CHRISTOFFOLETI et al., 1994; MONQUEIRO et al., 2000).

A enzima ALS localiza-se nos cloroplastos de tecidos clorofilados e nos plastídios de tecidos não clorofilados. A enzima ALS, é ativa e, portanto, mais sensível à inibição em regiões jovens da planta, onde predominam tecidos meristemáticos. Acetolactato sintase (ALS) é a primeira enzima na via de biossíntese para os aminoácidos de cadeia ramificada, valina, leucina e isoleucina. A ALS catalisa a formação de aceto-hidroxi-butirato e acetolactato sendo o local de destino a grande número de herbicidas, inibindo assim, a divisão celular (POWLES & YU, 2010).

Em trabalhos realizados por Dal Magro et al. (2010), com *Cyperus difformis*, a resistência a herbicida inibidor de ALS decorre da insensibilidade da enzima ao herbicida, porém sem alterar os parâmetros cinéticos KM (concentração de piruvato que fornece a velocidade inicial igual à metade da velocidade máxima de reação) e V<sub>máx</sub> (velocidade máxima da reação) da enzima.

A resistência em *R. raphanistrum* é devido a um sítio de ação da enzima ALS alterado. A mudança mais comum ocorreu na posição do aminoácido 197 (em relação à *Arabidopsis*) da enzima, que

em plantas suscetíveis é prolina, mas em *R. raphanistrum* resistente foi alterada para qualquer um dos aminoácidos histidina, serina, treonina ou alanina (YU et al, 2003). Também observaram mudança na posição 574 de triptofano para leucina e mudança na posição 376, de aspartato para glutamato (WALSH et al., 2006).

Recentemente foi investigada a base molecular da resistência aos herbicidas inibidores da ALS, e foi identificado como sendo devido a mutação da Alanina por Tirosina na posição do aminoácido 122 no gene da ALS. Essa mutação confere resistência de elevado grau e de amplo espectro a herbicidas inibidores da ALS. Essa descoberta proporciona notável contraste com a conhecida resistência, dotando mutação Alanina por Treonina na posição do aminoácido 122, aos herbicidas imidazolinonas (HAN et al., 2012).

Rotação de produtos químicos, no entanto, é visto apenas como medidas de "primeiros socorros". Conforme Morrison & Bourgeois (1995) o manejo sustentável da resistência passa pelo conceito "Smart Weed" ou "Manejo inteligente de plantas daninhas" em que se adota uma série de medidas, como: culturas mais competitivas através da seleção de cultivares e espaçamento adequado entre linhas, emergência rápida e uniforme através de semeadura e sementes de procedência idônea, rotação de culturas para influenciar na quebra de sucessão de ervas daninhas, rotação de mecanismo de ação herbicida, herbicidas seletivos e dessecação com herbicida não seletivo de ervas daninhas.

Para que as medidas de prevenção e manejo de resistência possam ser recomendadas de forma racional e com base em

informações consistentes de previsão da evolução da resistência em populações de plantas daninhas, é necessário que o comportamento biológico dos biótipos suscetíveis e resistentes seja caracterizado (GILL et al., 1996). O conhecimento da habilidade competitiva de culturas em relação à *R. raphanistrum*, por meio de experimento substitutivo, permite determinar a influência da população de plantas e da proporção destas e compreender as interações competitivas de práticas mais eficientes de manejo dessa planta daninha (YAMAUTI, 2011).

A agressividade de *R. raphanistrum* tem sido atribuída à forte capacidade competitiva com as culturas, alta proliferação, longevidade e dormência do banco de sementes, presença de populações resistentes aos herbicidas e a capacidade para emergir e produzir semente em vários momentos do ano (CODE & DONALDSON, 1996).

Vários pesquisadores têm estudado os efeitos do gênero *Raphanus* sobre o crescimento e a produção de trigo. Streibig et al. (1989) relataram que a capacidade competitiva de *R. raphanistrum* foi de 5 a 10 vezes maior do que a capacidade competitiva de *Lolium rigidum* em relação ao trigo. Hashem & Wilkins (2002) também mostraram reduções de produtividade na cultura do trigo na presença de *R. raphanistrum*. Além disso, infestações de nabo dificultam a colheita devido aos seus caules e síliquas fibrosos, contaminação de sementes e estocagem de grãos. Também pode atuar como hospedeiro alternativo para pragas e doenças no trigo (CHEAM & CODE, 1995).



Cousens et al. (2001) relataram que *R. raphanistrum* mostrou-se mais competitivo que a cultura do trigo. Rigoli et al. (2008) ao trabalharem com trigo e *R. raphanistrum* em experimento substitutivo, observaram que a espécie daninha foi mais competitiva que a cultura, ocorrendo competição pelos mesmos recursos. Já Yamauti et al. (2011) observaram que plantas de *Triticum turgidosecale* foi mais eficiente para capturar recursos do meio que *R. raphanistrum*, portanto, a cultura mostrou-se melhor competidora que a planta daninha.

## CAPÍTULO I

### RESISTÊNCIA DE *Raphanus raphanistrum* L. AO HERBICIDA METSULFUROM METÍLICO

LEANDRO OLIVEIRA DA COSTA<sup>1</sup>

**RESUMO** – Os herbicidas inibidores de ALS, especialmente metsulfurom metílico, são amplamente utilizados para controle de plantas daninhas, principalmente em trigo e cevada, no sul do Brasil. *Raphanus raphanistrum* L. é planta daninha comum em culturas de inverno. No entanto, a ocorrência nos últimos anos de plantas de *R. raphanistrum* que, após receberem o tratamento com metsulfurom, não manifestam sintomas de toxicidade, cria-se a hipótese de resistência a este herbicida. Com objetivo de avaliar a existência de biótipos de *R. raphanistrum* resistentes ao herbicida metsulfurom foi conduzido experimento em casa de vegetação em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. As unidades experimentais consistiram de vasos plásticos contendo seis plantas cada. Os tratamentos constaram da interação de *R. raphanistrum* resistente (biótipo R) e suscetível (biótipo S) com dez doses crescentes do herbicida (0,0; 0,6; 1,2; 2,4; 4,8; 9,6; 19,2; 38,4; 76,8 e 153,6 g i.a. ha<sup>-1</sup>). A aplicação do tratamento herbicida ocorreu no estágio de 3 a 4 folhas verdadeiras da planta daninha. As variáveis analisadas foram:

---

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, aluno do mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGAgro) da FAMV/UPF, Área de Concentração em Produção Vegetal.

controle, redução de porte e acúmulo de matéria seca. Empregou-se regressão, utilizando modelos não lineares de ajuste da curva de dose resposta. O biótipo S foi suscetível ao herbicida mesmo em doses abaixo da recomendada. O biótipo R foi insensível ao herbicida obtendo valores do fator de resistência (F) acima de 85. As curvas de dose resposta confirmaram a existência de biótipos de *Raphanus raphanistrum* com elevado grau de resistência ao herbicida metsulfurom metílico.

**Palavras-chave:** acetolactato sintase, dose resposta, planta daninha.

### ***Raphanus raphanistrum* L. RESISTANCE TO METSULFURON METHYL HERBICIDE**

**ABSTRACT** - The ALS-inhibitor herbicides, especially metsulfuron methyl, are widely used for weed control, mainly wheat and barley in Southern Brazil. *Raphanus raphanistrum* L. is a major weed of winter crops. However, in recent years the incidence of *R. raphanistrum*, after treated with metsulfuron, has no symptoms of toxicity, possibly due to herbicide resistance. Aiming to evaluate the existence of *R. raphanistrum* biotypes resistant to metsulfuron, an experiment was conducted in a greenhouse, in a completely randomized design with four replications. The plots consisted of pots with six plants. The treatments were *R. raphanistrum* resistant (biotype R) and susceptible (biotypes S) with ten doses of the herbicide (0.0; 0.6; 1.2; 2.4; 4.8;

9.6; 19.2; 38.4; 76.8 and 153.6 g i.a. ha<sup>-1</sup>). The application of the test herbicides occurred when the crop was at 3 to 4 true leaves stage. The variables analyzed were: control, reduced size and dry matter accumulation. Statistical analysis of dose-response curves was performed by non linear regression. The biotype S was susceptible to the herbicide even at doses below the recommended. The biotype R was insensitive to the herbicide obtaining values of resistance factor (F) higher than 85. The dose-response curve confirmed the existence of *R. raphanistrum* biotypes with high level of resistance to metsulfuron methyl herbicide.

**Keywords:** acetolactate synthase, dose-response, weed.

## 1 INTRODUÇÃO

O primeiro relato de resistência de plantas daninhas, no Brasil, foi com a espécie *Bidens pilosa* L. resistente aos herbicidas inibidores de ALS, em 1993 (HEAP, 2013). Os herbicidas inibidores de ALS são amplamente utilizados devido à reduzida toxicidade em mamíferos, ampla seletividade às culturas e elevada eficácia em baixas doses (YU et al., 2003). Existe elevado número de herbicidas comerciais inibidores da ALS, indicativo da importância para o controle de plantas daninhas, em diversas culturas (SHANER, 1999). Em todo o mundo são 54 princípios ativos inibidores de ALS registrados como herbicidas, sendo 33 sulfoniluréias, 7 triazolpirimidinas, 6 imidazolinonas, 5 pirimidilbenzoatos e 3 sulfonilaminocarboniltriazolinona (HEAP, 2013).

No mundo, os herbicidas inibidores de ALS estão em primeiro lugar no quesito resistência de plantas daninhas, somando 129 espécies, incluindo-se o *Raphanus raphanistrum* L. na Austrália e África do Sul. No Brasil, atualmente existe documentada resistência de 31 espécies de plantas daninhas a diferentes mecanismos de ação, sendo 14 espécies resistentes aos herbicidas inibidores de ALS (HEAP, 2013).

No Brasil, o primeiro caso de resistência aos inibidores de ALS, envolvendo o gênero *Raphanus*, foi com *Raphanus sativus*, documentado em 2001 (HEAP, 2013). A pressão de seleção dos herbicidas inibidores de ALS no controle de *R. sativus*, selecionou biótipos resistentes a princípios ativos, como: clorimuron etil,

cloransulam metil, imazetapir, metsulfuron metílico e nicosulfuron (THEISEN, 2008).

Resistência é a capacidade de ocorrência natural herdável de alguns biótipos, dentro de uma dada população de plantas daninhas, sobreviver ao tratamento herbicida que deveria, em condições normais de uso, controlar efetivamente a população natural (HRAC, 2013). Já tolerância de plantas daninhas aos herbicidas é a característica inata da espécie em sobreviver a aplicações de herbicidas na dose recomendada, que seriam letais a outras espécies, sem alterar o seu crescimento e desenvolvimento. É uma característica pré-existente na planta antes mesmo da primeira aplicação do herbicida (CHRISTOFFOLETI & LÓPEZ-OVEJERO, 2008).

A resistência de plantas daninhas está condicionada a evolução e variabilidade genética das populações. A pressão de seleção imposta pela aplicação persistente de herbicidas para o controle de plantas daninhas é a principal causa do aparecimento de biótipos resistentes. O herbicida controla as plantas suscetíveis, selecionando os biótipos resistentes, os quais se reproduzem livre de competição (NEVILL et al., 1998; CHRISTOFFOLETI & LÓPEZ-OVEJERO, 2008).

As características bioecológicas das plantas daninhas que conduzem ao rápido desenvolvimento da resistência são: ciclo de vida curto, elevada produção de sementes, baixa dormência da semente, várias gerações reprodutivas por ano, extrema suscetibilidade a um determinado herbicida e grande diversidade genética (CHRISTOFFOLETI & LÓPEZ-OVEJERO, 2008).

Acetolactato sintase (ALS) é a primeira enzima na biossíntese comum dos aminoácidos de cadeia ramificada: valina, leucina e isoleucina (BROWN, 1990; SCHLOSS, 1990). Segundo Saari et al. (1994) dois mecanismos principais foram identificados que conferem resistência a herbicidas inibidores da ALS, os quais são a existência de uma ALS insensível e o aumento na capacidade de metabolização do herbicida pela planta daninha. Esses dois mecanismos de resistência foram evidenciados em *Lolium rigidum*, resistente aos herbicidas inibidores de ALS (CHRISTOPHER et al., 1992).

*R. raphanistrum* é uma planta daninha prejudicial na agricultura brasileira, especialmente no sul do Brasil. Herbicidas inibidores de ALS, em particular metsulfurom metílico, têm sido usado com frequência para controlar esta planta daninha na cultura do trigo e cevada (MARCHIORO & FRANCO, 2010). Conforme Saari et al. (1994) estudos de modelagem sugerem que a frequência de mutação de resistência inicial para herbicidas inibidores da ALS em ervas daninhas é de cerca de  $10^{-6}$  ou inferior, e o primeiro biótipo resistente pode tornar-se aparente em 5 anos após o início do uso de herbicidas inibidores da ALS.

O uso repetitivo de herbicidas inibidores de ALS já selecionou biótipos resistentes de *R. sativus* no Rio Grande do Sul (THEISEN, 2008). Na Austrália, 21 % da população de *R. raphanistrum* é resistente aos herbicidas inibidores da ALS pelo uso constante de chlorsulfurom (WALSH et al., 2001). Além disso,

populações de *R. raphanistrum* evoluíram resistência múltipla a quatro mecanismos de ação herbicida (WALSH et al., 2006).

A planta daninha *R. raphanistrum* assume importância econômica, principalmente em culturas de inverno. Por ser uma planta que compete por luz e nutrientes, também apresenta ameaça às áreas em que é semeado o trigo, pois o número de herbicidas seletivo a esta cultura limita-se quase que exclusivamente a herbicidas inibidores de ALS. Dessa forma, a ocorrência nos últimos anos de biótipos de *R. raphanistrum* que após receberem o tratamento com metsulfurom metílico, não manifestam sintomas de toxicidade, indica-se a possibilidade de resistência a este herbicida. Diante disso, objetivou-se com este trabalho avaliar a existência de biótipos de *R. Raphanistrum* resistentes ao herbicida metsulfurom metílico.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Em 2010 foram coletadas sementes de populações de *Raphanus raphanistrum* L. com suspeita de resistência aos herbicidas inibidores de ALS em áreas onde ocorreram falhas de controle, pertencentes a produtores cooperados da Copacol, unidade de Cafelândia, no norte de Paraná. Essas sementes foram semeadas em Passo Fundo, RS, agosto de 2011 e, posteriormente, quando atingiram 3 a 4 folhas verdadeiras, aplicou-se 2,4 g i.a. ha<sup>-1</sup> de metsulfurom metílico (Ally<sup>®</sup>) para pré-seleção de biótipos resistentes. As plantas que sobreviveram ao tratamento herbicida foram mantidas até a obtenção de sementes, constituindo assim a população com suspeita



de resistência (Biótipo R). Para obtenção da população suscetível (Biótipo S), coletaram-se, em 2011, sementes de plantas de *R. raphanistrum*, na área experimental da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da universidade de Passo Fundo (FAMV-UPF), na cidade de Passo Fundo, RS, onde não havia histórico de aplicação de herbicidas inibidores de ALS. As sementes foram coletadas e armazenadas conforme recomenda Moss (2011).

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Centro de Extensão e Pesquisa Agropecuária (CEPAGRO) da FAMV-UPF, no período de maio a julho de 2012.

As unidades experimentais consistiram de vasos plásticos de 17 cm de diâmetro e 14 cm de altura, com capacidade volumétrica de 2,5 L, perfazendo área superficial de 0,0453 m<sup>2</sup>, preenchidos com substrato comercial do tipo Turfa Fértil<sup>®</sup>. Em maio de 2012 semearam-se sementes dos biótipos R e S sendo os vasos mantidos em casa de vegetação com irrigação intermitente. Após 15 dias da semeadura, realizou-se o desbaste, mantendo 6 plantas de nabo por vaso. Quando no estágio de desenvolvimento de três a quatro folhas verdadeiras, os vasos foram retirados da casa de vegetação para aplicação do herbicida metsulfurom metílico (Ally<sup>®</sup>). A aplicação foi realizada com pulverizador costal de precisão, pontas jato plano XR 11002, na altura de 50 cm acima do alvo com volume de aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup>. Após a aplicação do herbicida, os vasos foram levados para a casa de vegetação, permanecendo sem irrigação por 24 horas a fim de não interferir na absorção do herbicida.

Os tratamentos resultaram da combinação dos biótipos R e S com 10 doses múltiplas do herbicida metsulfurom (0 D; 0,25 D; 0,5 D; 1 D; 2 D; 4 D; 8 D; 16 D; 32 D e 64 D), em que D é a dose comercial recomendada para controle de *R. raphanistrum* (2,4 g i.a. ha<sup>-1</sup>). Assim as doses que constituíram os tratamentos foram: 0,0; 0,6; 1,2; 2,4; 4,8; 9,6; 19,2; 38,4; 76,8 e 153,6 g i.a. ha<sup>-1</sup>. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, sendo que a posição dos vasos foi alterada periodicamente, a fim de se obter as condições experimentais homogêneas.

Avaliou-se, visualmente, o controle e porte dos biótipos aos 14 e 35 dias após aplicação (DAA) do herbicida. Para o controle utilizou-se como base a escala percentual, em que a nota 0% correspondeu a nenhum efeito do herbicida e a nota 100% significou morte completa das plantas do vaso. Para avaliar o porte, utilizou-se escala percentual, em que 0% correspondeu a nenhum efeito de redução de porte imposta pelo herbicida e 100% a redução total da parte aérea das plantas do vaso. Avaliações de matéria seca (MS) foram realizadas, retirando-se três plantas por vaso aos 14 DAA e mais três plantas aos 35 DAA e, posteriormente, secadas em estufa a 65 °C por 72 horas até peso constante, quando foi realizada a quantificação da MS.

Os resultados de controle, redução de porte e MS foram inicialmente submetidos à análise de variância e quando significativa, empregou-se regressão, utilizando-se modelos não lineares de ajuste

da curva de dose-resposta. Os dados apresentaram distribuição normal, não havendo a necessidade de transformações.

Experimento de curva de dose- resposta é o mais recomendado para a comprovação de resistência a herbicida. A resistência nesse tipo de experimento é confirmada se houver diferença estatística na resposta ao herbicida entre o biótipo resistente e o biótipo suscetível, comprovados por modelos de regressão não lineares (BRAIN & COUSENS, 1989).

Para o ajuste da curva dos dados de controle e redução de porte, utilizou-se o modelo log-logístico de quatro parâmetros proposto por Streibig (1988) e Seefeldt et al. (1995):

Equação 1:

$$y = a + \frac{b}{\left[1 + \left(\frac{x}{c}\right)^d\right]}, \text{ onde:}$$

$y$  = porcentagem de controle;  $x$  = 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 e  $d$  é a declividade da curva ao redor de  $c$ .

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 biomassa, em consequência da redução imposta pelo produto. Para o ajuste da curva de MS, utilizou-

se o modelo exponencial declínio duplo de quatro parâmetros (BECKIE et al., 2012):

Equação 2:

$$y = ae^{-bx} + ce^{-dx}, \text{ onde:}$$

$y$  = % de controle em relação a parcela não tratada,  $x$  é o coeficiente de dose do herbicida (g i.a. ha<sup>-1</sup>),  $a$  é o limite inferior,  $a + c$  é o limite superior da curva,  $b$  e  $d$  quantificam a inclinação da curva.

O modelo log-logístico apresenta vantagens, uma vez que um dos termos integrantes da equação (c) é uma estimativa do valor de GR<sub>50</sub> (CHRISTOFFOLETI, 2002). Conforme Heap (1994) o DL<sub>50</sub> ou GR<sub>50</sub> é a dose necessária para obter controle de 50% ou para reduzir a MS da planta em 50 % em relação as plantas não tratadas de biótipos resistentes e suscetíveis. A partir das curvas geradas, pode-se calcular o valor de DL<sub>50</sub> ou GR<sub>50</sub> em g i.a. ha<sup>-1</sup>.

De posse dos valores da DL<sub>50</sub> ou GR<sub>50</sub>, obteve-se o Fator de Resistência (F), que correspondeu à razão entre a GR<sub>50</sub> ou DL<sub>50</sub> do biótipo resistente em relação a DL<sub>50</sub> ou GR<sub>50</sub> do biótipo suscetível. O fator F (F=R/S) expressa o número de vezes em que a dose necessária para controlar 50% do biótipo resistente é superior à dose que controla 50% do biótipo suscetível (HALL et al., 1998).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância foi significativa para todas as variáveis analisadas com interação significativa dos fatores biótipos e

doses para matéria seca (MS), porte e controle aos 14 e 35 dias após a aplicação (DAA).

O efeito do herbicida metsulfurom variou de acordo com o biótipo avaliado (Figuras 1 e 2). Aos 14 DAA o biótipo S foi sensível às doses baixas, com controle de 27% na menor dose, atingindo 93% de controle na dose mais alta (153,6 g i.a. ha<sup>-1</sup>). Já o biótipo R mostrou-se insensível às doses baixas do herbicida, atingindo controle de 3% na dose 4,8 g i.a. ha<sup>-1</sup> e 53% de controle na dose mais alta.

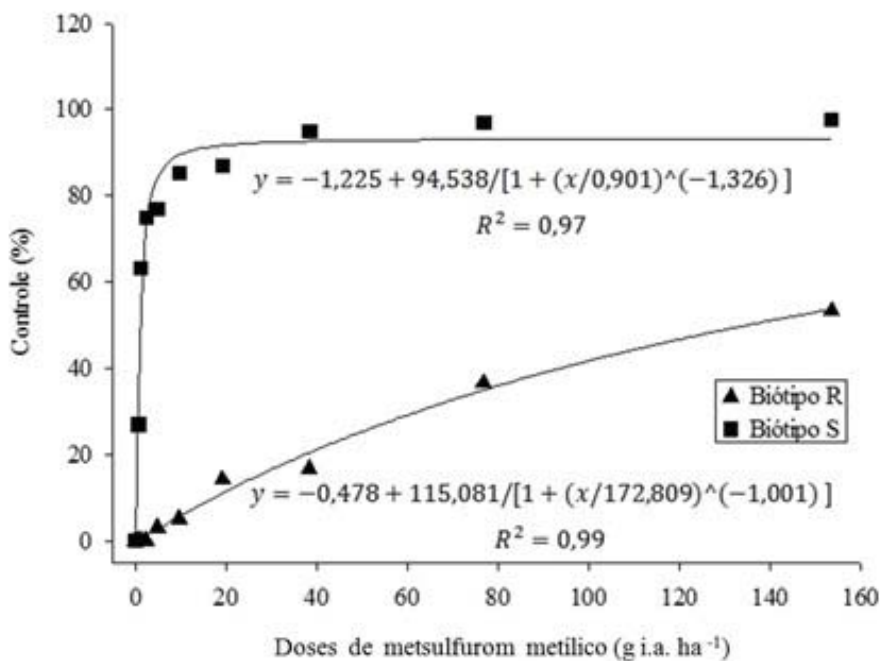


Figura 1- Controle (%) e parâmetros da equação aos 14 dias após aplicação para os biótipos resistente (R) e suscetível (S). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Aos 35 DAA o biótipo S, na dose mais baixa de 0,6 g i.a. ha<sup>-1</sup>, controlou 80% e na dose comercial de 2,4 g i.a. ha<sup>-1</sup> controlou

99% da população, mantendo controle de 100% a partir dessa dose. Já o biótipo R mostrou-se insensível ao herbicida até a dose de 4,8 g i.a. ha<sup>-1</sup>, com controle de 6% na dose de 9,6 g i.a. ha<sup>-1</sup> e 80% na dose mais alta. Resultados semelhantes foram observados por Christoffoleti (2002) ao testar biótipos de *Bidens pilosa*, resistente e suscetível a herbicidas inibidores de ALS, onde mil vezes a dose recomendada de metsulfurom, não controlou o biótipo resistente, enquanto que na dose recomendada, o controle foi 100% no biótipo suscetível.

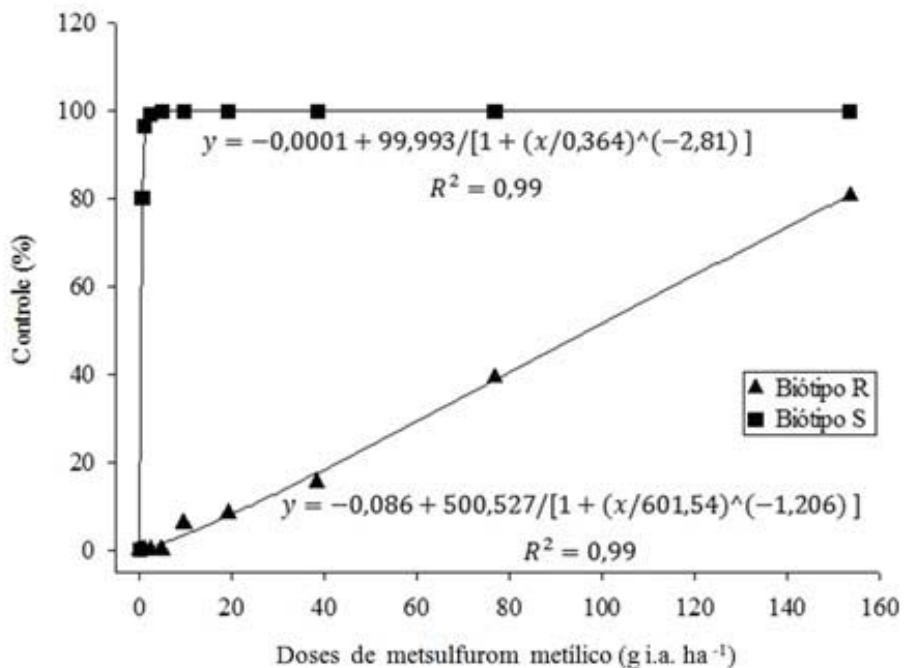


Figura 2- Controle (%) e parâmetros da equação aos 35 dias após aplicação para biótipos resistente (R) e suscetível (S). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Com base nos dados gerados a partir das curvas aos 14 DAA, os valores para a DL<sub>50</sub> foram de 1,02 e 135,11 g i.a. ha<sup>-1</sup> para o

biótipo S e biótipo R, respectivamente. Dessa forma, o valor do fator de resistência (F) foi 132 (Tabela 1). Isso significa que o Biótipo R foi 132 vezes mais resistente que o biótipo S.

Aos 35 DAA os biótipos R e S atingiram  $DL_{50}$  de 97,34 e 0,36 g i.a.  $ha^{-1}$ , respectivamente, caracterizando o valor F de 267,4 (Tabela 1). Ao comparar as épocas de controle, observa-se que o biótipo R aumentou o valor F aos 35 DAA em relação aos 14 DAA. Tal fato aconteceu provavelmente pela ação sistêmica do metsulfurom e, principalmente pelo fato de as sulfoniluréias possuírem como característica o controle lento das plantas daninhas suscetíveis (BROWN, 1990).

Dessa forma, pelos resultados de controle nas duas épocas, ficou evidente o elevado grau de resistência do biótipo R ao herbicida metsulfurom, e que a dose comercial de 2,4 g i.a.  $ha^{-1}$  e acima desta, controla a população do biótipo S (Figura 3).

Tabela 1- Dose necessária para controlar 50% das plantas em relação as plantas não tratadas ( $DL_{50}$ ) e fator de resistência (F) dos biótipos resistente (R) e suscetível (S) de *R. raphanistrum* aos 14 e 35 dias após aplicação (DAA) de metsulfurom metílico. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012

Avaliação de controle (DAA)	Biótipos	$DL_{50}$ (g i.a. $ha^{-1}$ )	Fator F
14	R	135,11	132
14	S	1,02	-
35	R	97,34	267
35	S	0,36	-

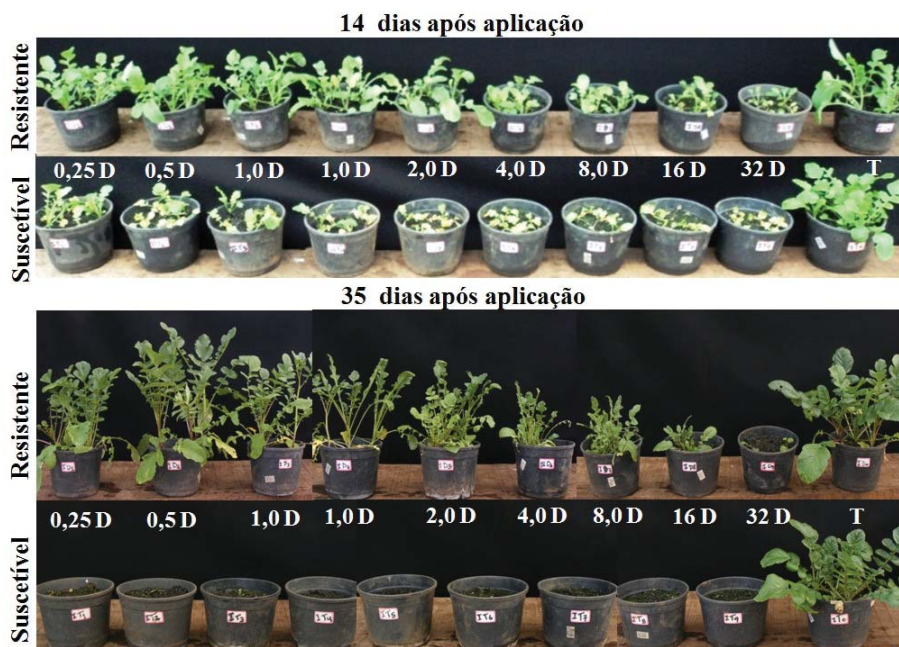


Figura 3- Controle de biótipo de *R. raphanistrum* resistente e suscetível aos 14 e 35 dias após aplicação de doses crescentes de metsulfurom metílico. A dose aplicada em cada tratamento (vaso) é representada pelo número de vezes que multiplica D, sendo D a dose comercial (2,4 g i.a. ha<sup>-1</sup>). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Os resultados de MS diferiram entre os biótipos R e S, tanto aos 14, quanto aos 35 DAA (Figuras 4 e 5). Aos 14 DAA, em todas as doses utilizadas de metsulfurom, a MS reduziu nos biótipos R e S em relação à testemunha (parcela sem herbicida). Na dose mais baixa de 0,6 g i.a. ha<sup>-1</sup>, a MS reduziu para 5 e 33% nos biótipos R e S, respectivamente, em relação a testemunha. Quando se aplicou 153,6 g i.a. ha<sup>-1</sup>, a MS reduziu 78 e 96% nos biótipos R e S, respectivamente.



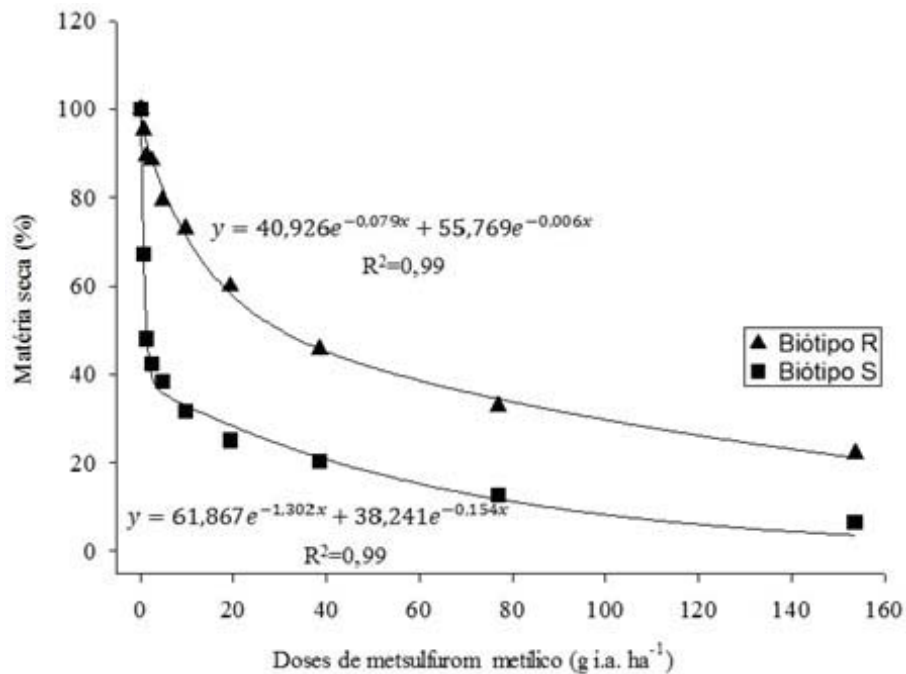


Figura 4- Matéria seca (%) em relação à parcela sem herbicida e parâmetros da equação para os biótipos resistente (R) e suscetível (S) 14 dias após aplicação de metsulfurom metílico. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Aos 35 DAA a MS também reduziu para os dois biótipos. Porém, o biótipo S, na dose de 1,2 g i.a. ha<sup>-1</sup>, reduziu 88% da MS em relação às plantas não tratadas, enquanto o biótipo R, a redução foi de 7%. Na dose mais alta de 153,6 g i.a. ha<sup>-1</sup> o biótipo R reduziu 93% da MS em relação à testemunha. Já o biótipo S, a partir da dose 2,4 g i.a. ha<sup>-1</sup>, reduziu a MS em 100%, com morte completa das plantas. Na Austrália biótipo de *R. raphanistrum* suspeito de resistência, quando submetido a dose de 90 g i.a. ha<sup>-1</sup> de chlorsulfurom, teve taxa de 89 a 100% de sobrevivência. Já o biótipo suscetível foi controlado em 70% a 100% com doses de 15 e 60 g i.a. ha<sup>-1</sup>, respectivamente (HASHEM et al., 2001).

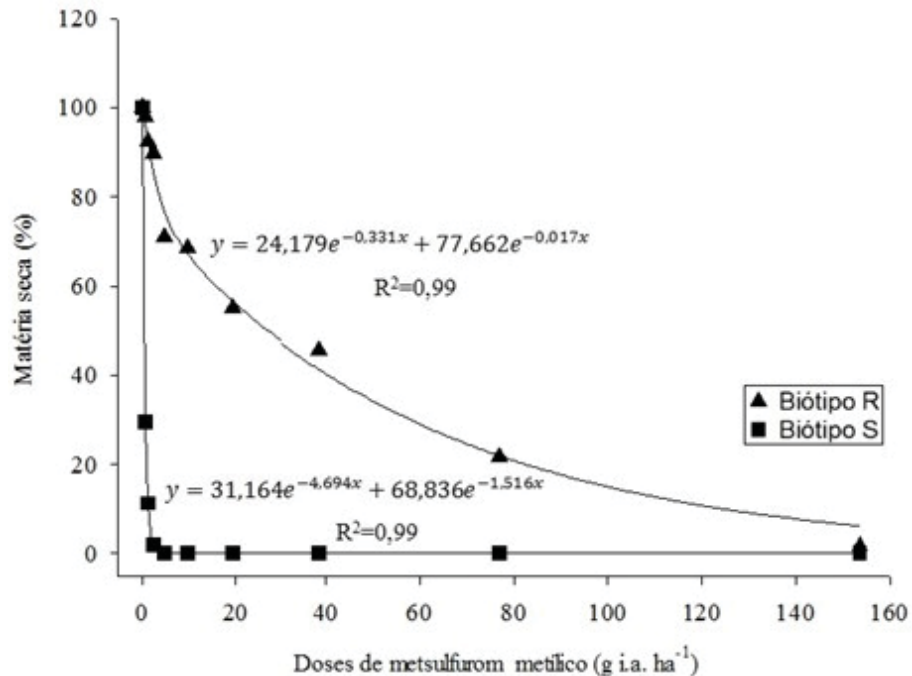


Figura 5- Matéria seca (%) em relação à parcela sem herbicida e parâmetros da equação para os biótipos resistente (R) e suscetível (S) 35 dias após aplicação de metsulfurom metílico. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Os resultados da  $GR_{50}$  e do valor F, para os biótipos R e S aos 14 e 35 DAA, estão descritos na Tabela 2. Aos 14 DAA os valores da  $GR_{50}$  e o Fator F mostram que o biótipo S reduziu 50% da MS com 1,22 g i.a.  $ha^{-1}$ , enquanto o biótipo R necessitou de 29,9 vezes essa dose para alcançar a mesma redução. Já aos 35 DAA as diferenças entre os biótipos foram superiores, onde o biótipo R mostrou-se 85 vezes mais resistente que o biótipo S à dose do herbicida que controla 50% da população. Assim como na avaliação de controle (Tabela 1), o valor F foi maior aos 35 DAA em relação aos 14 DAA.

As altas taxas de resistência (F) observadas para este herbicida também podem estar relacionadas com a elevada suscetibilidade da população suscetível (LÓPEZ-OVEJERO et al., 2005). Tal fato confirma-se pela alta suscetibilidade do biótipo S, que na dose mais baixa de 0,6 g i.a. ha<sup>-1</sup>, obteve controle acima de 80% nas avaliações aos 35 DAA.

Tabela 2- Dose necessária para reduzir a matéria seca das plantas em 50% em relação as plantas não tratadas (GR<sub>50</sub>) e fator de resistência (F) dos biótipos resistente (R) e suscetível (S) de *R. raphanistrum* aos 14 e 35 dias após aplicação (DAA) de metsulfurom metílico. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012

Avaliação de controle (DAA)	Biótipos	DL <sub>50</sub> (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	Fator F
14	R	29,950	24
14	S	1,225	-
35	R	26,60	85
35	S	0,313	-

As respostas da variável redução de porte (Figuras 6 e 7) foram similares as descritas para MS (Figuras 4 e 5). As curvas ajustadas aos 14 DAA, para o biótipo R e S, mostram que o porte reduziu em todas as doses, exceto na parcela sem herbicida. A dose mais baixa de 0,6 g i.a. ha<sup>-1</sup> reduziu o porte em 3 e 27% os biótipos R e S, respectivamente. A dose mais alta de 153,6 g i.a. ha<sup>-1</sup> reduziu o porte do biótipo S em 89%, enquanto o biótipo R reduziu 71%. Aos 35 DAA o biótipo R foi insensível à dose mais baixa, enquanto o biótipo S reduziu 75%. Na dose mais alta a redução do biótipo R foi de 89%, enquanto o biótipo S, na dose de 2,4 g i.a. ha<sup>-1</sup>, reduziu 98% com morte do total das plantas.

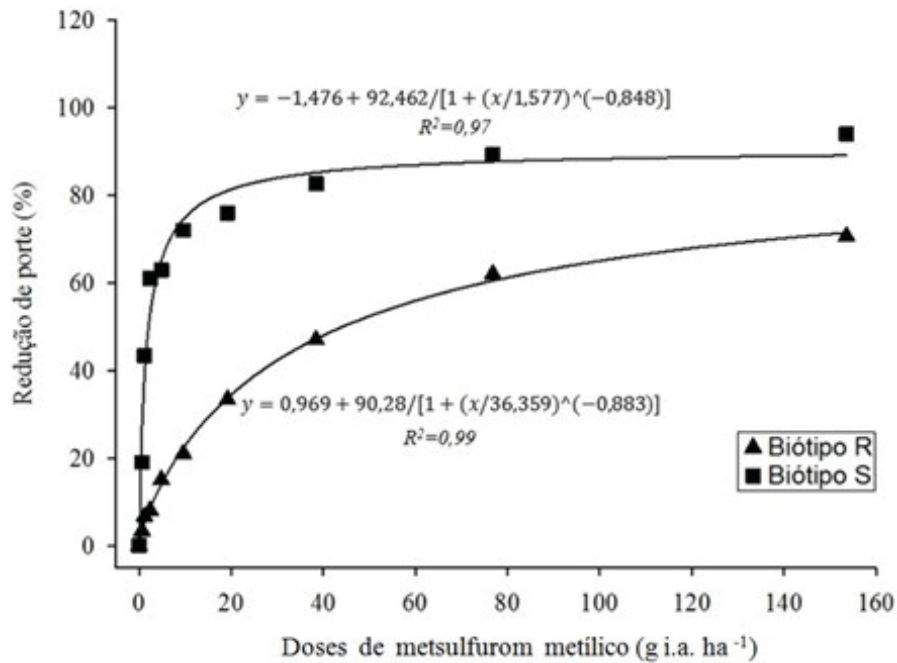


Figura 6- Redução de porte (%) e parâmetros da equação para os biótipos resistente (R) e suscetível (S) 14 dias após aplicação de metsulfurom metílico. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

Os resultados da  $DL_{50}$  e F, após os ajustes das curvas de dose resposta para a redução de porte, também permaneceram próximos aos valores das taxa de resistência observada para MS (Tabela 3). O fator F foi de 21 a 109, aos 14 e 35 DAA, respectivamente. No final, o biótipo R foi 109 vezes mais resistente que o biótipo S ao metsulfurom. Esses resultados asseguram o elevado grau de resistência, indicado por todas as variáveis avaliadas.

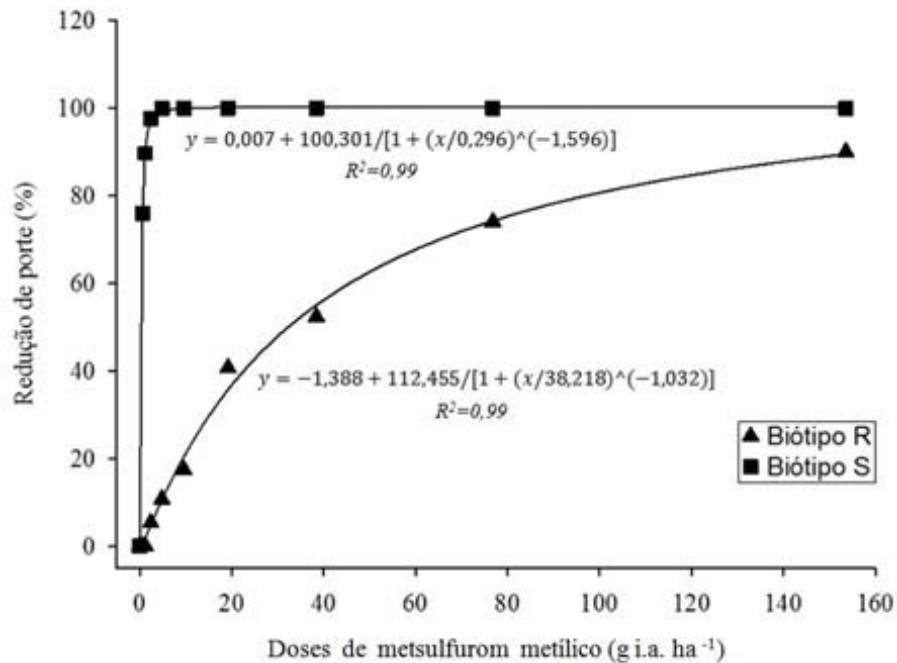


Figura 7- Redução de porte (%) e parâmetros da equação para os biótipos resistente (R) e suscetível (S) 35 dias após aplicação de metsulfurom metílico. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

A variação das taxas de resistência entre os métodos de avaliação, principalmente controle em relação a MS, se deu pelo fato de que o efeito de controle é avaliado o grau de fitotoxicidade, porcentagem de tecido necrosado e morto pela ação do herbicida. Dessa forma, pequenas variações como redução de porte, diminuição da área foliar, entre outros, não são perceptíveis. Assim, a MS passa a ser uma maneira mais próxima da realidade para avaliar a eficácia de herbicidas, principalmente em experimentos de curva de dose resposta, onde se necessita mensurar pequenas alterações no desenvolvimento da planta, excepcionalmente quando a planta daninha é caracterizada com baixo nível de resistência.

Tabela 3- Dose necessária para reduzir o porte das plantas em 50% em relação as plantas não tratadas ( $DL_{50}$ ) e fator de resistência (F) dos biótipos resistente (R) e suscetível (S) de *R. raphanistrum* aos 14 e 35 dias após aplicação (DAA) de metsulfurom metílico. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012

Avaliação de controle (DAA)	Biótipo	$DL_{50}$ (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	Fator F
14	R	44,24	21
14	S	2,065	-
35	R	32,35	109
35	S	0,295	-

Estudos realizados com *R. raphanistrum* demonstraram que a resistência é devida a um sítio de ação da enzima ALS alterado (WALSH et al., 2006). As altas taxas de resistência observada nas avaliações de controle, redução de porte e MS, com valores de F de 267, 109 e 85 respectivamente, aos 35 DAA, também pode estar relacionada a uma mudança na base molecular da resistência a herbicidas inibidores de ALS. Em trabalho recente com população homocigota de *R raphanistrum* resistente aos herbicidas inibidores de ALS, Han et al. (2012) observaram que houve uma mudança na base molecular da resistência dessa população, a qual foi identificada como sendo uma mutação de Alanina por Tirosina na posição do aminoácido 122 do gene ALS. Essa mutação conferiu elevada taxa de resistência aos seguintes grupos químicos de herbicidas inibidores de ALS: sulfoniluréias ( $F>1024$ ), triazolpirimidinas ( $>516$ ) e imidazolinonas ( $F=16$ ).

Segundo Heap (2013) o critério para documentar a resistência é quando o fator de resistência (F) for maior que 10, baseado na  $GR_{50}$  ou  $DL_{50}$ . Através dos resultados das taxas de

resistência, obtidos pelo ajuste das curvas de dose resposta, é correto afirmar que o biótipo R possui elevado grau de resistência para o herbicida metsulfurom metílico, pois o fator de resistência, em todas as avaliações, foi maior que 10 ( $F > 10$ ), e que o biótipo S mostrou-se suscetível a esse herbicida.

A confirmação da resistência dessa planta daninha, que predomina no inverno e por quase todo o verão em lavouras de produção no Sul do Brasil, vislumbra a necessidade de se estabelecer estratégias de manejo para prevenção e controle da resistência aos inibidores da ALS, por se tratarem de herbicidas de elevado risco para seleção de biótipos resistentes.

#### **4 CONCLUSÃO**

Biótipo de *Raphanus raphanistrum*, originário de Cafelândia, Paraná, possui elevado grau de resistência ao herbicida inibidor de ALS metsulfurom metílico.

**CAPÍTULO II**  
**HERBICIDAS ALTERNATIVOS PARA O CONTROLE DE**  
***Raphanus raphanistrum* L. RESISTENTE AO HERBICIDA**  
**METSULFUROM METÍLICO**

**LEANDRO OLIVEIRA DA COSTA<sup>1</sup>**

**RESUMO** – O controle de plantas daninhas dicotiledôneas, em culturas de inverno, é realizado basicamente com herbicidas inibidores da enzima ALS. O uso intensivo desses herbicidas em áreas cultivadas com trigo tem proporcionado pressão de seleção nas populações de *R. raphanistrum* resultando em biótipos resistente a esses herbicidas. Objetivou-se com esse trabalho determinar a existência de resistência cruzada e resistência múltipla aos herbicidas inibidores de ALS. Os tratamentos resultaram da combinação de dois biótipos de *R. raphanistrum* resistente (biótipo R) e suscetível (biótipo S), com 12 herbicidas: glifosato, atrazina, bentazona, 2,4-D, sulfometurom metílico + clorimurom etílico, clorimurom etílico, cloransulam metílico, iodosulfurom, nicossulfuron, imazetapir, metsulfurom metílico, imazapic + imazapir e mais um tratamento controle sem aplicação. Aplicou-se a dose recomendada de cada herbicida, para o controle da espécie, no estágio de desenvolvimento de 3 a 4 folhas verdadeiras. Foram analisados controle e redução de matéria seca. O biótipo S foi suscetível a todos os herbicidas ALS quanto aos

---

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, aluno do mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGAgro) da FAMV/UPF, Área de Concentração em Produção Vegetal.



herbicidas de outros mecanismos de ação utilizados no estudo. O biótipo R possui resistência cruzada aos grupos químicos imidazolinonas, sulfoniluréias e triazolpirimidinas variando o grau de sensibilidade entre esses herbicidas. O biótipo R não evoluiu resistência múltipla, e os herbicidas glifosato, bentazona, atrazina e 2,4-D mostraram ser eficazes no controle do biótipo R e podem ser utilizados para o manejo químico dessa planta daninha.

**Palavras-chave:** resistência cruzada, resistência múltipla, planta daninha, acetolactato sintase.

**ALTERNATIVE HERBICIDES TO CONTROL *Raphanus*  
*raphanistrum* L. RESISTANT TO METSULFURON METHYL  
HERBICIDE**

**ABSTRACT** - The control of weeds in winter crops is done primarily with ALS-inhibitor herbicides. The intensive herbicide use in areas with wheat has provided selection pressure on *R. raphanistrum* resulting in biotypes resistant to these herbicides. The objective of this work was to determine the existence of cross resistance and multiple resistance to ALS-inhibitors herbicides. Treatments consisted of *R. raphanistrum* resistant (biotype R) and susceptible (biotypes S), with 12 herbicides: glyphosate, atrazine, bentazone, 2,4-D, sulfometuron methyl + chlorimuron ethyl, chlorimuron ethyl, cloransulam methyl, iodosulfuron methyl, nicossulfuron, imazethapyr, metsulfuron methyl,

imazapic + imazapyr and a control without herbicide. It was applied the recommended dose of each herbicide at 3 to 4 true leaves stage. The control and reduction of dry matter was evaluated. The biotype S was susceptible to all herbicides herbicides used in the study. The biotype R has cross resistance to herbicides that belong to chemical group's imidazolinones, sulfonylureas and triazolopyrimidines varying degree of sensitivity between these herbicides. The biotype R did not developed multiple resistance and glyphosate, bentazone, atrazine and 2,4-D shown to be effective in controlling biotype R and can be used for chemical management of *R. raphanistrum*.

**Keywords:** cross resistance, multiple resistance, weed, acetolactate synthase.

## 1 INTRODUÇÃO

A expressão do potencial produtivo das culturas atrela-se a fatores como intensidade, época e o grau de controle das plantas daninhas. O controle se faz necessário por que as plantas daninhas interferem com as culturas por fatores associados a expressão do potencial produtivo como água, luz e nutrientes (FERRI & VIDAL, 2003). Na atualidade, os agricultores depositam confiança excessiva no controle químico das plantas daninhas e, o uso indiscriminado de herbicidas, propiciou a seleção de casos de resistência em diferentes espécies (VARGAS et al., 1999).

Embora os herbicidas sejam ferramentas eficazes no manejo de plantas daninhas, a dependência excessiva em um único mecanismo de ação, resulta na seleção de populações de plantas daninhas resistentes (NEVILL, et al., 1998; TRANEL & WRIGHT, 2002). Conforme Powles & Preston (2013) é estabelecido que a aplicação persistente do mesmo herbicida gera elevada pressão de seleção de indivíduos portadores de genes que conferem resistência a herbicidas. As plantas que expressam quaisquer traços genéticos desses genes, ao sobreviverem, tem vantagem competitiva e podem vir a dominar a população.

No mundo 131 espécies possuem resistência aos herbicidas inibidores de ALS, sendo os herbicidas com maior número de casos de resistência documentados. No Brasil a primeira espécie que evoluiu resistência aos herbicidas inibidores de ALS foi *Bidens pilosa*, em 1993. A partir disso, já foram documentados 14 casos de

resistência a esses herbicidas (HEAP, 2013). Theisen (2008) documentou biótipos de *R. sativus* com resistência cruzada aos herbicidas clorimurrom etílico, cloransulam metílico, imazetapir, metsulfurom metílico e nicosulfuron.

Resistência cruzada ocorre quando biótipos de plantas daninhas são resistentes a dois ou mais herbicidas, pertencentes ao mesmo mecanismo de ação, portanto, conferindo a capacidade de resistir a herbicidas, a partir de diferentes grupos químicos (HALL et al., 1994; CHRISTOFFOLETI & LÓPEZ-OVEJERO, 2008).

A maioria dos estudos relata que biótipos resistentes aos herbicidas do grupo sulfoniluréia, dotados de mutação no local de ação do herbicida na enzima ALS, apresenta níveis variáveis de resistência cruzada para os grupos químicos imidazolinonas e triazolpirimidinas (HALL & DEVINE, 1990; SAARI et al., 1990; SAARI et al., 1994; WALSH et al., 2004). Vargas et al. (1999) ao trabalhar com um biótipo de *Euphorbia heterophylla* resistente aos inibidores de ALS, relatou possuir resistência cruzada aos herbicidas imazaquim, imazetapir, imazamox, flumetsulam, exceto ao imazapir.

Ao estudar a base bioquímica e molecular de oito populações de *R. raphanistrum* resistentes aos herbicidas inibidores de ALS, provenientes de locais separados por distâncias consideráveis, verificou-se que em todas as populações, a resistência é devido a uma enzima ALS insensível, e todas possuem um padrão de resistência cruzada similar (YU et al., 2003). Para os autores, as diferenças quantitativas nos níveis de resistência foram evidentes nestas populações.

A resistência em *R. raphanistrum* é devido a um sítio de ação da enzima ALS alterado (WALSH et al., 2006). Observou-se que a mudança mais comum ocorreu na posição do aminoácido 197 (em relação à *Arabidopsis*) da enzima, que em plantas suscetíveis é prolina, mas em *R. raphanistrum* resistente foi alterado para aminoácidos como histidina, serina, treonina ou alanina. Também observou-se mudança na posição 574 de triptofano para leucina e mudança na posição 376, de aspartato para glutamato.

Recentemente foi investigada a base molecular da resistência aos herbicidas inibidores da ALS, e foi identificada como sendo devido a mutação da Alanina por Tirosina no aminoácido 122 do gene da ALS (HAN et al., 2012). Conforme os autores essa mutação confere resistência de elevado grau e de amplo espectro a herbicidas inibidores da ALS.

A resistência múltipla ocorre quando o biótipo possui um ou mais mecanismos de resistência distintos conferindo resistência a herbicidas pertencentes a dois ou mais mecanismos de ação (CHRISTOFFOLETI & LÓPEZ-OVEJERO, 2008). Nesse sentido, populações *R. Raphanistrum*, no oeste da Austrália evoluíram resistência múltipla a quatro mecanismos de ação herbicida (WALSH et al., 2006), ou seja: resistência aos herbicidas inibidores de ALS (WALSH et al., 2001.), inibidores de fotossistema II (HASHIM et al., 2001; WALSH et al., 2004), mimetizadores de auxinas e inibidores da síntese de carotenóides (WALSH et al., 2004).

O uso de herbicidas alternativos é uma solução a curto prazo, mas que deverá ser integrado com outras formas de manejo

como rotação de culturas, culturas mais competitivas, população e distribuição da cultura na área, sementes de qualidade e procedência conhecida, cobertura do solo, entre outros (NEVILL, et al., 1998).

No Sul do Brasil, em lavouras cultivadas no período de inverno, principalmente na cultura do trigo, tem-se observado aumento de reclamações por parte de produtores em relação a infestações de *R. raphanistrum* não controlados pelos herbicidas inibidores de ALS. Isso levantou-se a hipótese de que haja resistência cruzada a esses herbicidas. Dessa forma, é necessário que se busque alternativas de controle dessa espécie, e assim, evitar perdas de rendimento e até mesmo a desistência de produtores em semear a cultura do trigo em áreas infestada por essa planta daninha. Objetivou-se com esse trabalho, indicar alternativas para controle de *R. raphanistrum* resistente ao herbicida metsulfurom metil e, verificar possível resistência cruzada aos herbicidas inibidores de ALS ou resistência múltipla a outros mecanismo de ação.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

No ano 2011, sementes de *Raphanus raphanistrum* L. com suspeita de resistência aos herbicidas inibidores de ALS, foram coletadas em áreas onde ocorreram falhas de controle, pertencentes a produtores cooperados da Copacol, unidade de Cafelândia, no norte de Paraná. Após a coleta, as sementes foram semeadas em vasos, em Passo Fundo, RS, e, posteriormente, quando atingiram 3 a 4 folhas verdadeiras, realizou-se pré-seleção de biótipos resistentes, com

aplicação de 2,4 g i.a. ha<sup>-1</sup> de metsulfurom metílico (Ally®). As plantas que sobreviveram ao tratamento herbicida foram conduzidas até o final do ciclo para obtenção de sementes, constituindo assim a população suspeita de resistência (Biótipo R). Para compor a população suscetível (Biótipo S), coletaram-se sementes de plantas de *R. raphanistrum*, no ano de 2011, na área experimental da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo (FAMV-UPF), onde não havia histórico de aplicação de herbicidas inibidores de ALS.

O experimento foi desenvolvido no período de maio a julho de 2012, em casa de vegetação. As unidades experimentais consistiram de vasos plásticos de 17 cm de diâmetro e 14 cm de altura, com capacidade volumétrica de 2,5 L, perfazendo área superficial de 0,0453 m<sup>2</sup>, preenchidos com substrato comercial do tipo Turfa Fértil®. Em maio de 2012 semearam-se sementes dos biótipos resistente (R) e suscetível (S) sendo os vasos mantidos em casa de vegetação com irrigação intermitente. Após 15 dias da semeadura, realizou-se o desbaste, mantendo seis plantas de *R. Raphanistrum* por vaso. Quando no estágio de desenvolvimento de três a quatro folhas verdadeiras, os vasos foram retirados da casa de vegetação para aplicação dos herbicidas. A aplicação foi realizada com pulverizador costal de precisão, pontas jato plano XR 11002, na altura de 50 cm acima do alvo com volume de aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup>. Após a aplicação dos herbicidas, os vasos foram levados para a casa de vegetação, permanecendo sem irrigação por 24 horas a fim de não interferir na absorção dos herbicidas.

Os tratamentos resultaram da combinação de dois biótipos de *R. raphanistrum* (resistente e suscetível), com 12 herbicidas e mais um tratamento controle sem aplicação, que foram arrançados em fatorial 2 x 13, completamente casualizado, com quatro repetições. O fator A foi constituído pelos biótipos R e S, e o fator B pelos herbicidas e suas respectivas doses comerciais (Tabela 1). A posição dos vasos foi alterada periodicamente, a fim de se obter as condições experimentais homogêneas.

Avaliou-se, visualmente, o controle dos biótipos aos 14 e 35 dias após aplicação (DAA) dos herbicidas. Para o controle utilizou-se como base a escala percentual, em que a nota 0% correspondeu a nenhum efeito do herbicida e a nota 100% significou morte completa das plantas do vaso. Avaliações de matéria seca (MS) foram realizadas, retirando-se três plantas por vaso aos 14 DAA e mais três plantas aos 35 DAA e, posteriormente, secas em estufa a 65°C por 72 horas até peso constante, quando foi realizada a quantificação da MS em balança de precisão.

Os valores de MS foram transformados para 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 biomassa, em consequência da redução imposta pelos herbicidas (BECKIE et al., 2012). Os dados relativos ao percentual de controle e de MS foram normalizados pela transformação em raiz quadrada de  $(x + 1)$ , para realização da análise de variância.



Tabela 1- Tratamentos herbicidas e doses utilizadas no controle de *R. raphanistrum*, FAMV/UPF, Passo Fundo,RS, 2012

Tratamentos <sup>1/</sup>	Dose (g i.a. ou e.a. ha <sup>-1</sup> )
1- Metsulfurom metílico	2,4
2- Imazapic+Imazapir	2,6+7,9
3- Iodosulfurom metílico	5
4- Clorimurom etílico	20
5- Imazetapir	100
6- Sulfometurom metílico + clorimurom etílico	75+25
7- Nicossulfuron	22,5
8- Cloransulam metílico	30
9- 2,4-D	1209
10- Bentazona	720
11- Glifosato	960
12- Atrazina	2500
13- Sem herbicida	-

<sup>1/</sup> Utilizou-se o adjuvante Lanzas® na dose de 0,5% do volume de calda, exceto em glifosato.

Os dados foram submetidos à análise de variância e testados pelo teste F. Quando significativos ( $P < 0,05$ ), procedeu-se à análise comparativa pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, com auxílio do programa estatístico SIGMA PLOT 12.0.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância foi significativa para todas as variáveis analisadas, com interação significativa dos fatores biótipos e herbicidas para controle e matéria seca (MS), aos 14 e 35 dias após aplicação (DAA). O efeito de controle dos herbicidas variou de acordo com o biótipo avaliado (Tabela 2). Aos 14 DAA todos os herbicidas exerceram controle acima de 90% no biótipo S, com destaque para o glifosato atingindo controle de 98%. Já para o biótipo R, os herbicidas inibidores de ALS mostraram-se ineficientes, sendo que, o herbicida inibidor da ALS a atingir maior controle, foi clorimurom + sulfometurom, com 28%. Os herbicidas glifosato, atrazina, bentazona e 2,4-D controlaram 98, 94, 93 e 92%, respectivamente, não diferenciando significativamente o controle entre o biótipo R e S.

Mesmo esses herbicidas tendo controlado totalmente ambos os biótipos, é de extrema importância não depender de poucos ou exclusivamente de um herbicida para realizar o manejo desta planta daninha (HASHIM et al., 2001) principalmente em áreas de cereais de inverno, pois pode ocorrer rapidamente a evolução da resistência para herbicidas de outros mecanismos de ação (WALSH et al., 2006). Imazapic + imazapir não mostrou nenhuma ação herbicida sobre o biótipo R, não se diferenciando da testemunha sem herbicida, seguido de metsulfurom e imazetapir.

Aos 35 DAA todos os herbicidas exerceram 100% de controle no biótipo S, enquanto que, no biótipo R apenas os herbicidas de mecanismo de ação diferente da ALS, controlaram 100% (Tabela

2). Os herbicidas inibidores de ALS possuem como características a eficácia elevada, em doses comerciais, sobre biótipos sensíveis (TRANSEL & WRIGHT, 2002). Entre os herbicidas inibidores de ALS, o cloransulam foi o que mais obteve êxito no controle do biótipo R com 54%. Nos demais, o controle foi inferior, com destaque ao imazapic + imazapir, metsulfurom e imazetapir que não proporcionaram nenhum efeito de controle.

Yu et al. (2012) avaliaram população homocigota de *R. raphanistrum* resistente aos herbicidas inibidores de ALS, quando submetida a aplicação dos herbicidas chlorsulfuron, imazamox e metosulam, nas doses de: 5 e 10; 12,5 e 25; 3 e 6 g i.a. ha<sup>-1</sup> respectivamente, não obtiveram controle, contudo, para o biótipo suscetível as doses menores controlaram 100% aos 21 dias após o tratamento.

Através dos resultados de controle é possível afirmar que os herbicidas glifosato, atrazina, bentazona e 2,4-D são eficazes no controle do biótipo R, e que podem fazer parte de uma rotação de herbicidas de diferentes mecanismos de ação. Também ficou evidenciado que a população do biótipo R possui resistência cruzada aos grupos químicos das imidazolinonas, sulfoniluréias e triazolpirimidinas (Figura 1). Christoffoleti (2002) e Vargas et al. (1999), observaram que biótipos de *Bidens pilosa* e *Euphorbia heterophylla* apresentaram elevados níveis de resistência cruzada às sulfoniluréias e imidazolinonas.

Tabela 2- Controle (%) de *Raphanus raphanistrum* resistente (biótipo R) e suscetível (biótipo S) ao herbicida metsulfurom metílico, 14 e 35 dias após aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012

Herbicidas	Dose (g ha <sup>-1</sup> ) (i.a/e.a.)	14 DAA		35 DAA	
		Biótipo R	Biótipo S	Biótipo R	Biótipo S
		-----%-----			
Glifosato	960	A 98 a <sup>1/</sup>	A 98 a	A 100 a	A 100 a
Atrazina	2500	A 94 a	A 95 a	A 100 a	A 100 a
Bentazona	720	A 93 a	A 94 a	A 100 a	A 100 a
2,4-D	1209	A 92 a	A 95 a	A 100 a	A 100 a
Clorimurom+ Sulfometurom	25+75	B 28 b	A 94 a	B 30 d	A 100 a
Clorimurom	20	B 22 c	A 95 a	B 43 c	A 100 a
Cloransulam	30	B 22 c	A 93 a	B 54 b	A 100 a
Iodosulfurom	5	B 16 d	A 92 a	B 18 f	A 100 a
Nicossulfuron	22,5	B 11 e	A 94 a	B 24 e	A 100 a
Imazetapir	100	B 2 f	A 93 a	B 0 g	A 100 a
Metsulfurom	2,4	B 1 f	A 93 a	B 0 g	A 100 a
Imazapic+ Imazapir	2,6+7,9	B 0 f	A 94 a	B 0 g	A 100 a
Sem herbicida	-	A 0 f	A 0 b	A 0 g	A 0 b
C.V. (%)		2,04		1,12	

<sup>1/</sup> Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, ou maiúscula na linha comparadas na mesma data de avaliação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

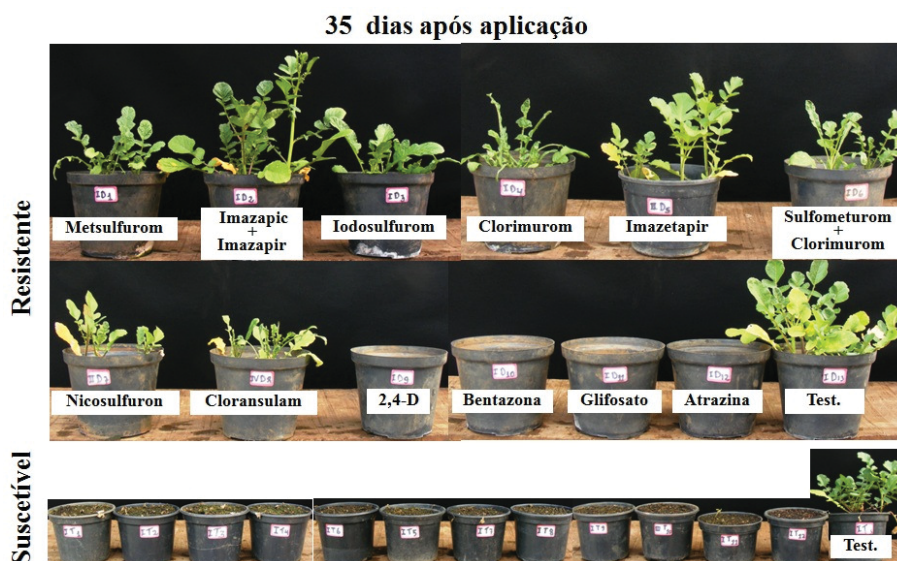


Figura 1- Controle de biótipos de *Raphanus raphanistrum* resistente e suscetível aos 35 dias após aplicação dos herbicidas (Test.= Testemunha sem herbicida). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012.

A MS variou entre os biótipos R e S como resultado da aplicação dos herbicidas. Para o biótipo R, A porcentagem de MS foi diferente entre os herbicidas inibidores da ALS e os herbicidas pertencentes a outros mecanismos de ação (Tabela 3).

Aos 14 DAA a porcentagem de MS entre os biótipos R e S não diferiu entre os herbicidas bentazona, atrazina, 2,4-D e glifosato. O menor percentual de MS, para ambos os biótipos, foi em resposta à aplicação do herbicida glifosato. Este fato pode estar relacionado com a alta mobilidade do glifosato nos tecidos dos vegetais e melhor ação de controle que este herbicida exerce em plantas em estágio inicial de 3 a 4 folhas (KOGER, et al., 2004). O herbicida metsulfurom foi o que menos reduziu a MS do biótipo R, não diferindo dos herbicidas imzetapir e imazapic + imazapir. Entre os herbicidas inibidores de

ALS, o sulfometurom + clorimurom foi o que mais reduziu a MS do biótipo R, chegando ao valor de 27% de MS em relação à parcela não tratada.

Tabela 3- Matéria seca (%) de *Raphanus raphanistrum* resistente (biótipo R) e suscetível (biótipo S) ao herbicida metsulfurom metílico, 14 e 35 dias após aplicação (DAA). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012

Herbicidas	Dose (g ha <sup>-1</sup> ) (i.a/e.a.)	14 DAA		35 DAA	
		Biótipo R	Biótipo S	Biótipo R	Biótipo S
		-----%			
Glifosato	960	A 11 a <sup>U</sup>	A 14 a	A 0 a	A 0 a
Bentazona	720	A 16 a	A 18 ab	A 0 a	A 0 a
Atrazina	2500	A 17 a	A 17 a	A 0 a	A 0 a
2,4-D	1209	A 18 a	A 19 ab	A 0 a	A 0 a
Clorimurom+ Sulfometurom	25+75	A 27 b	B 34 d	B 54 c	A 0 a
Cloransulam	30	B 56 c	A 31 cd	B 39 b	A 0 a
Clorimurom	20	B 64 cd	A 33 a	B 54 c	A 0 a
Iodosulfurom	5	B 70 de	A 34 d	B 81 de	A 0 a
Nicossulfuron	22,5	B 75 e	A 36 d	B 65 cd	A 0 a
Imazapic+ Imazapir	2,6+7,9	B 98 f	A 32 cd	B 97 ef	A 0 a
Imazetapir	100	B 95 f	A 32 cd	B 96 ef	A 0 a
Metsulfurom	2,4	B 98 f	A 25 bc	B 96 ef	A 0 a
Sem herbicida	-	A 100 f	A 100 e	A 100 f	A 100 b
C.V. (%)		0,8		3,50	

<sup>U</sup> Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, ou maiúscula na linha comparadas na mesma data de avaliação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados de MS aos 35 DAA (Tabela 3) foram semelhantes aos resultados de controle (Tabela 2). A MS do biótipo S reduziu a 0% em todos os tratamentos herbicidas, demonstrando que esse biótipo é facilmente controlado tanto por herbicidas inibidores de ALS quanto por herbicidas de outros mecanismos de ação. Os herbicidas glifosato, bentazona, atrazina e 2,4-D reduziram 100% da MS do biótipo R. Entre os herbicidas inibidores de ALS, o biótipo R demonstrou níveis diferenciados de MS em resposta ao tratamento com esses herbicidas. Os herbicidas imazapic + imazapir, imazetapir e metsulfurom não diferiram da testemunha, sem herbicida, em relação a MS. Já o herbicida cloransulam foi o que exerceu maior efeito de redução de MS do biótipo R entre os inibidores de ALS.

Estudos realizados por Vidal & Merotto Jr. (1999) com um biótipo de *Euphorbia heterophylla*, demonstraram que o mesmo possuía resistência cruzada aos herbicidas inibidores de ALS e não foi controlado com 8 vezes a dose comercial de imazetapir, mas foi suscetível aos herbicidas glifosato, 2,4-D, dicamba, paraquat, atrazina, fomesafen e lactofen.

Já Vargas (2000) ao testar biótipos de *Euphorbia heterophylla*, observou resistência cruzada aos herbicidas imazetapir e imazamox, mas suscetibilidade ao imazapir. Isso sugere que uma planta daninha ao ser resistente a um dado herbicida inibidor de ALS, não necessariamente terá resistência cruzada a todos os outros do mesmo grupo químico.

Dessa forma, embasado nos resultados de controle e MS, é correto afirmar que o biótipo R possui resistência cruzada a todos os

herbicidas inibidores de ALS testados, e o grau de sensibilidade desse biótipo a estes herbicidas é diferenciando. Em estudos com *Xanthium strumarium* foram determinados os níveis de resistência cruzada de: 1,1 para clorimurrom (sulfoniluréia), >324 para imazaquim (imidazolinona) e 1,4 para flumetsulam (triazolpirimidina) (SCHMITZER, et al., 1993). As variações no nível de resistência cruzada dentro dos herbicidas inibidores de ALS possivelmente se devem à ligação diferenciada e particular de cada herbicida ao local de ação e diferentes mutações que ocorrem no gene que codifica a enzima ALS (POWLES & PRESTON, 2013).

O biótipo R não evoluiu resistência múltipla aos herbicidas 2,4-D (mimetizador de auxinas), glifosato (inibidor de EPSPS), atrazina e bentazona (inibidores do fotossistema II). Esses herbicidas mostraram-se eficazes no controle do biótipo R e podem ser utilizados para o manejo químico dessa espécie daninha resistente aos herbicidas inibidores da enzima ALS. Porém, mesmo sendo herbicidas que exercem controle eficaz e eficiente de populações resistentes, é necessário adotar diferentes estratégias a fim de evitar e prevenir a resistência generalizada de plantas daninhas a estes herbicidas.



#### 4 CONCLUSÕES

O biótipo de *Raphanus raphanistrum*, originário de Cafelândia, Paraná, possui resistência cruzada aos herbicidas inibidores de ALS, mas não apresenta resistência múltipla a esses mecanismos de ação.

O biótipo de *Raphanus raphanistrum*, resistente aos herbicidas inibidores de ALS, é suscetível aos herbicidas glifosato, bentazona, atrazina e 2,4-D, sendo herbicidas alternativos para o manejo de populações do biótipo resistente aos herbicidas inibidores da enzima ALS.

### CAPÍTULO III

#### HABILIDADE COMPETITIVA DE TRIGO EM CONVIVÊNCIA COM BIÓTIPOS DE *Raphanus raphanistrum* L. RESISTENTE E SUSCETÍVEL AOS HERBICIDAS INIBIDORES DE ALS

LEANDRO OLIVEIRA DA COSTA<sup>1</sup>

**RESUMO** – As culturas agrícolas estão sujeitas a interações com outras espécies vegetais com nichos ecológicos semelhantes ou não. A ocorrência de *Raphanus raphanistrum* resistente a herbicidas ALS, em lavouras de trigo, tem ocasionado perdas de rendimento na cultura, havendo a necessidade de conhecer os fatores que influenciam na competição dessa planta daninha, para assim, desenvolver estratégias de manejo com maior segurança. O objetivo foi investigar a habilidade competitiva de trigo em convivência com biótipos de *R. raphanistrum* resistente (biótipo R) e suscetível (biótipo S) aos herbicidas ALS e se há diferenças de competitividade entre os biótipos. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação, na Universidade de Passo Fundo, RS, no ano de 2012, em delineamento inteiramente casualizado e quatro repetições. Os tratamentos foram alojados em vasos e arranjos em série de substituição, em três experimentos: 1-trigo com biótipo R, 2- trigo com biótipo S e 3-

---

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, aluno do mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGAgro) da FAMV/UPF, Área de Concentração em Produção Vegetal.

biótipo R com biótipo S, nas proporções: 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 e 0:100. A competitividade foi analisada por meio de diagramas aplicados a experimentos substitutivos e índices de competitividade, com avaliação da matéria seca da parte aérea das plantas (experimento 1, 2 e 3) e área foliar (experimento 3). Os biótipos R e S diminuíram significativamente a matéria seca da parte aérea do trigo demonstrando habilidade competitiva superior à cultura. A competição interespecífica foi mais importante para o trigo e para o biótipo S. A competitividade do biótipo R em relação ao biótipo S foi semelhante, havendo sinergismo na produção de área foliar, predominando a competição intraespecífica no biótipo R.

**Palavras-chave:** competição, interferência, série de substituição.

**COMPETITIVE ABILITY OF WHEAT IN ASSOCIATION  
WITH BIOTYPES *Raphanus raphanistrum* L. RESISTANT AND  
SUSCEPTIBLE TO THE ALS INHIBITORS**

**ABSTRACT** - The occurrence of ALS herbicide-resistant *Raphanus raphanistrum* in wheat crops causes crop yield losses, which makes it necessary to understand the factors that influence the interference of this weed to develop safer management strategies. This study aimed to evaluate the competitive ability of wheat in coexistence with biotypes of *R. raphanistrum* that are resistant (R biotype) and susceptible (S biotypes) to ALS herbicides and to determine whether there are differences in the competitiveness of these biotypes. The experiments

were conducted in a greenhouse using a completely randomized design with four replications. The treatments were placed in pots and arranged in replacement series for three experiments (1 - wheat with the R biotype; 2 - wheat with the S biotype; and 3 – the R biotype with the S biotype) at the following ratios: 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, and 0:100. The competitiveness was analyzed through diagrams applied to replacement experiments and competitiveness indices, including the evaluation of the dry matter of the plants' shoots (experiments 1, 2, and 3) and the leaf area (experiment 3). The R and S biotypes significantly decreased the shoot dry matter of the wheat cultivar and demonstrated superior competitive ability compared with the culture. The interspecific competition was more important for the wheat and for the S biotype. The competitiveness of the R biotype compared to the S biotype was similar, with synergism in the leaf area production, which indicates the predominant intraspecific competition exhibited by the R biotype.

**Keywords:** competition, interference, replacement series.

## 1 INTRODUÇÃO

A competição de plantas daninhas é uma barreira para o sucesso produtivo das culturas em geral (AFIFI & SWANTON, 2012). As culturas agrícolas estão sujeitas a interações com outras espécies vegetais com nichos ecológicos semelhantes ou não. Tais interações, entre diferentes espécies vegetais ou populações de uma mesma espécie, denomina-se interferência (RADOSEVICH, 1987), podendo possuir caráter positivo, negativo ou neutro, dependendo das espécies envolvidas (BOOTH et al., 2003).

Competição é definida como forma de interferência negativa na qual os indivíduos ou plantas disputam entre si recursos ambientais que encontram-se limitados no meio, como água, nutrientes e luz (RADOSEVICH, 1987; WILSON, 1988; ZANINE & SANTOS, 2004). A disponibilidade de recursos altera o equilíbrio competitivo entre espécies em um ecossistema. Dessa forma, a competição é um dos principais fatores que moldam a morfologia e o ciclo de vida de populações de plantas em uma comunidade (XU et al., 2011).

A habilidade de uma espécie em competir com outra se relaciona a vários fatores, dentre eles destacam-se: espécie vegetal, densidade populacional e época de emergência de uma espécie em relação à outra e características da planta (RADOSEVICH, 1987; RIZZARDI et al., 2003; BIANCHI et al., 2006). O efeito das espécies daninhas sobre as culturas não se deve somente a sua maior habilidade competitiva individual, mas principalmente à população total de

plantas (VILÀ et al., 2004). A composição específica da comunidade infestante é de fundamental importância na determinação do grau de interferência, pois as espécies variam bastante em relação aos seus hábitos de crescimento e exigências em recursos do meio. Geralmente quanto mais próximas morfológica e fisiologicamente são duas espécies, mais similares serão suas exigências em relação aos fatores de crescimento e, mais intensas será a competição pelos fatores limitados no ambiente comum (PITELLI, 1987).

Há três tipos de competição em associações de plantas: a competição entre os órgãos das plantas ou concorrência intraplanta, a competição entre as plantas da mesma espécie ou intraespecífica e, interferência entre diferentes espécies ou competição interespecífica (PARK et al., 2002).

Os métodos desenvolvidos para estudar a competição entre plantas permitem quantificar perdas ocasionadas pelas plantas daninhas e competitividade entre espécies, considerando a densidade de plantas, proporção de espécies e arranjo espacial em vários níveis, abrangendo quatro tipos principais: aditivo, sistemático, superfície de resposta e série substitutiva, sendo este último, o mais utilizado para estudar a competição entre plantas, pois permite avaliar qual das espécies ou biótipos são mais competitivos (RADOSEVICH, 1987; COUSENS, 1991). Uma vez que os fatores que influenciam o processo de competição são compreendidos, o nível de supressão e controle de plantas daninhas pode ser determinado com maior segurança desenvolvendo estratégias para o manejo, resultando em

redução de custos e maior rendimento das culturas (RADOSEVICH, 1987; FLECK et al., 2006; AGOSTINETTO et al., 2008).

*Raphanus raphanistrum* é uma planta daninha pertencente à família Brassicaceae, originária da Europa meridional, amplamente disseminada pelas regiões de clima temperado e subtropical do mundo. No Brasil ocorre com intensidade na Região Sul e em menor escala na região Centro Oeste (KISSMANN, 1999). Planta anual de inverno é uma das espécies de folhas larga mais competitiva em cereais de inverno. A agressividade da espécie tem sido atribuída à forte capacidade competitiva com as culturas, alta prolificidade, longevidade e dormência do banco de sementes, presença de populações resistentes aos herbicidas e a capacidade para emergir e definir semente em vários momentos do ano (CODE & DONALDSON, 1996).

Vários pesquisadores têm estudado os efeitos do gênero *Raphanus* sobre o crescimento e a produção de trigo. Streibig et al. (1989) relataram que a capacidade competitiva de *R. raphanistrum* foi de 5 a 10 vezes maior do que a capacidade competitiva de *Lolium rigidum* em relação ao trigo. Hashem & Wilkins (2002) também mostraram reduções de produtividade na cultura do trigo na presença de *R. raphanistrum*. Cousens et al. (2001) relataram que *R. raphanistrum* mostrou-se mais competitivo que a cultura do trigo, assim como Eslami et al. (2006) e Rigoli et al. (2008).

Para que as medidas de prevenção e manejo de resistência possam ser recomendadas de forma racional e com base em informações consistentes de previsão da evolução da resistência em

populações de plantas daninhas, é necessário que o comportamento biológico dos biótipos suscetíveis e resistentes seja caracterizado (GILL et al., 1996). Foram observadas altas concentrações de valina e leucina nas folhas de biótipos de *Lactuca serriola* resistente aos herbicidas inibidores de ALS quando comparado com biótipos suscetíveis (EBERLEIM, et al., 1999). Esses aminoácidos são responsáveis pela síntese de DNA, o que poderia permitir que a divisão e crescimento celular ocorressem de forma mais rápida no biótipo resistente do que no suscetível sob temperaturas mais amenas (DYER et al., 1993). As consequências dessa aptidão ecológica levaria o biótipo resistente a uma rápida velocidade de emergência, permitindo uma rápida ocupação do nicho ecológico, em relação ao biótipo suscetível, obtendo vantagens na competição.

Diante disso, levantou-se a hipótese que *R. raphanistrum* possui habilidade competitiva superior a cultura do trigo e que pode haver diferenças, em relação a competitividade entre biótipos de *R. raphanistrum* resistente e suscetível aos herbicidas inibidores de ALS. Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa foi investigar a habilidade competitiva de trigo em convivência com biótipos de *R. raphanistrum* resistente e suscetível aos herbicidas inibidores de ALS e se há diferenças de competitividade entre os biótipos.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Em 2010 foram coletadas sementes de populações de *Raphanus raphanistrum* L. com suspeita de resistência aos herbicidas



inibidores de ALS em áreas onde ocorreram falhas de controle, pertencentes a produtores cooperados da Copacol, unidade de Cafelândia, no norte de Paraná. Em 2012, após ser confirmada a resistência aos inibidores de ALS, as sementes dessas plantas constituíram a população de *Raphanus raphanistrum* resistente (biótipo R). Para obtenção da população de *R. raphanistrum* suscetível (biótipo S), coletaram-se, em 2011, sementes de plantas adultas na área experimental da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo (FAMV-UPF), onde não havia histórico de aplicação de herbicidas inibidores de ALS. As sementes foram coletadas e armazenadas conforme recomenda Moss (2011).

Foram conduzidos três experimentos no período de julho a setembro de 2012, em casa de vegetação na FAMV-UPF, na cidade de Passo Fundo, RS.

As unidades experimentais consistiram de vasos plásticos de 30 cm de diâmetro maior e 26 cm de altura, com capacidade volumétrica de 11,5 L, perfazendo área superficial de 0,07 m<sup>2</sup>. Foram preenchidos com mistura de substrato comercial do tipo Turfa Fértil<sup>®</sup> + solo oriundo da área experimental, classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico. Foi utilizado a cultivar de trigo Quartzo<sup>®</sup>. A densidade populacional foi ajustada de acordo com a “Lei de produção final constante” (RADOSEVICH, et. al., 2007). Após desbastes para ajuste da população definitiva de 8 plantas vaso<sup>-1</sup>, equivalendo a 114 plantas m<sup>-2</sup>, para atingir a produção de matéria seca (MS) constante. Os tratamentos foram conduzidos em séries de substituição e constaram de combinações de cinco proporções:

experimento 1 (EXP1) trigo e biótipo R, experimento 2 (EXP2) trigo e biótipo S, experimento 3 (EXP3) biótipo R e biótipo S. As proporções combinadas de trigo e biótipo R foram as seguintes: 8 e 0; 6 e 2; 4 e 4; 2 e 4; 0 e 8, isto é, 100, 75, 50, 25 e 0% de plantas de trigo e o inverso para o biótipo R, procedendo dessa forma para os demais experimentos. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo a posição dos vasos alterada periodicamente, a fim de se obter as condições experimentais homogêneas.

As sementes de trigo e dos biótipos R e S foram postas a germinar em bandejas de isopor, preenchidas com substrato tipo Turfa Fértil<sup>®</sup>. Em testes preliminares, foi determinada a velocidade de emergência das sementes de trigo e dos biótipos para que coincidissem a emergência de ambos. Uma semana após a germinação, as plântulas de trigo e dos biótipos R e S foram transplantadas para as unidades experimentais. Este processo elimina efeitos de diferentes velocidades de germinação sobre o processo competitivo, o que poderia mascarar os resultados (CARVALHO & CHRISTOFFOLETTI, 2008). As unidades experimentais permaneceram sob irrigação intermitente por todo o período de duração do experimento.

Sessenta dias após a emergência (DAE), fez-se a coleta de todas as plantas, cortando rente ao solo, para avaliação de produção de matéria seca. O trigo encontrava-se em estágio de alongamento, o biótipo R em estágio de frutificação e o biótipo S em estágio de florescimento. Após o corte, as plantas foram embaladas em sacos de papel, identificadas e mantidas em estufa a 65°C por um período de 72

horas. Determinou-se, em balança de precisão, a matéria seca da parte aérea (MSPA). No EXP3 avaliou-se também a área foliar (AF), em  $\text{cm}^2$ , das plantas com auxílio de um medidor de área foliar marca LICOR, modelo LI-3100C.

Para análise dos resultados, utilizou-se o método de análise gráfica ou convencional para experimentos substitutivos (RADOSEVICH, 1987; COUSENS, 1991). Este procedimento consiste na construção de diagramas com base na produtividade relativa (PR) e produtividade relativa total (PRT), nas proporções de 0, 25, 50, 75 e 100% da cultura e da planta daninha ou planta daninha resistente e planta daninha suscetível.

A PR foi calculada dividindo-se a média da mistura pela média da monocultura, incluindo-se no cálculo a média por planta de cada espécie em cada unidade experimental. A PRT representa a soma das PR dos competidores nas respectivas proporções de plantas (HOFFMAN & BUHLER, 2002; RADOSEVICH et al., 2007).

As fórmulas para o cálculo das produtividades relativas e totais, segundo Hoffman & Buhler (2002), foram as seguintes:

$$P_{ra} = (p) (A_{mix}/A_{mon})$$

$$P_{rb} = (1 - p) (B_{mix}/B_{mon})$$

$$PRT = P_{ra} + P_{rb}, \text{ onde:}$$

$P_{ra}$  = produtividade relativa da espécie “a” (trigo- EXP1 e EXP2 ou biótipo R (EXP3))

$P_{rb}$  = produtividade relativa da espécie “b” (*R. raphanistrum*)

$$p = \text{proporção de “a” em \% dividido por 100}$$

$A_{mix}$  = valor da variável a ser analisada (ex: matéria seca) de “a” em mistura

$A_{mon}$  = valor da variável a ser analisada de “a” em monocultura

$B_{mix}$  = valor da variável a ser analisada de “b” em mistura

$B_{mon}$  = valor da variável a ser analisada de “b” em monocultura

PRT = Produtividade relativa total

Se a PR resultar em uma linha reta não há efeito de competição entre as espécies ou a habilidade competitiva entre elas são equivalentes; se a PR resultar em linha convexa ocorre benefício de uma ou ambas as espécies; se a PR resultar em linha côncava significa que ocorre prejuízo a uma ou ambas as espécies. Para a PRT, se  $PRT = 1$  (reta), a competição ocorre pelos mesmos recursos;  $PRT > 1$  (convexa) não ocorre competição devido à demanda não superar os recursos, ou por que as espécies possuem nichos ecológicos diferentes;  $PRT < 1$  (côncava) ocorre antagonismo, prejuízo mútuo às espécies envolvidas (RADOSEVICH, 1987; HOFFMAN & BUHLER, 2002).

Índices de competitividade relativa (CR), coeficiente de agrupamento relativo (K) e de agressividade (A) foram calculados nas seguintes proporções: 50% de trigo e biótipo R (EXP1), 50% de trigo e biótipo S (EXP2) e 50% de biótipo R e biótipo S (EXP3). O CR representa o crescimento comparativo da espécie “a” em relação à espécie “b”; K indica a dominância relativa de uma espécie sobre a

outra; e A demonstra qual espécie é mais competitiva. Através da interpretação desses valores, é possível mensurar o grau de competitividade entre as espécies (RADOSEVICH, 1987; COUSENS, 1991).

As fórmulas para cálculo desses índices são as seguintes:

$$CR = ((1-p)/p)*(PRa/PRb)$$

$$Ka = ((1-p)/p)*(PRa/(1-PRa))$$

$$Kb = ((1-p)/p)*(PRb/(1-PRb))$$

$$A = (PRa/2p)-(PRb/(2(1-p)))$$

A espécie “a” será mais competitiva que a espécie “b” quando:  $CR > 1$ ,  $Ka > Kb$  e  $A > 0$ , ou a espécie “b” será mais competitiva quando:  $CR < 1$ ,  $Ka < Kb$  e  $A < 0$  (HOFFMAN & BUHLER, 2002).

Para a análise estatística da produtividade relativa, calcularam-se primeiramente as diferenças para os valores de PR (DPR) obtidos nas proporções de 25, 50 e 75% de plantas em relação aos valores pertencentes às retas hipotéticas nas respectivas proporções: 0,25; 0,50 e 0,75 (FLECK et al., 2008; DAL MAGRO et al., 2011; WANDSCHEER, 2012). Utilizou-se o teste “t” ( $p \leq 0,05$ ) para testar as diferenças relativas aos índices DPR, PRT, CR, K e A em relação às retas hipotéticas, com auxílio do software estatístico SAS (Estatistical Analysis System- versão 8.0).

Para as hipóteses de nulidade para testar as diferenças de DPR e A usou-se as médias iguais a zero ( $H_0 = 0$ ); para PRT e CR, que as médias fossem iguais a unidade ( $H_0 = 1$ ); para o índice K, as médias das diferenças entre  $Ka$  e  $Kb$  fossem iguais a zero ( $H_0 = (Ka -$

Kb) = 0). As variáveis MSPA e AF foram expressas em valores médios por planta e submetidos a análise de variância. Quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Dunnett ( $p \leq 0,05$ ), considerando as monoculturas como testemunhas.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A análise gráfica dos resultados referente à produtividade relativa (PR) da massa seca da parte aérea (MSPA), demonstrou que o biótipo R foi mais competitivo que o trigo, sendo a PR representada por uma linha convexa e a do trigo representada por uma linha côncava, em relação as retas hipotéticas (Figura 1), principalmente nas proporções 50:50 e 25:75 para o trigo e, 75:25 e 50:50 para o biótipo R, em que a diferença foi significativa (Tabela 1). Nota-se que as plantas de trigo foram prejudicadas quando o biótipo R possuía igual ou maior densidade de plantas. Já a espécie daninha, nas densidades iguais ou inferiores ao trigo, obteve acréscimo na produtividade relativa, caracterizando-se como uma espécie agressiva para a cultura.

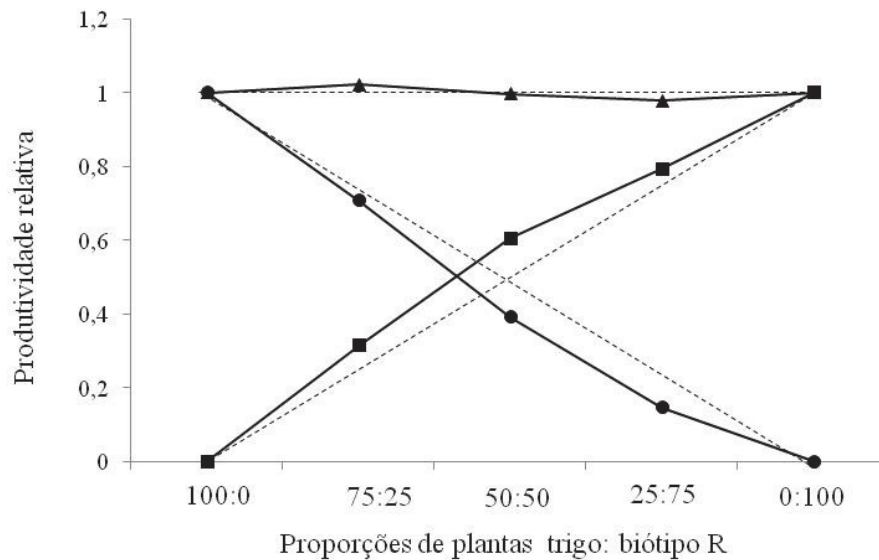


Figura 1- Produtividade relativa (PR) e total (PRT) para matéria seca da parte aérea de plantas de trigo e biótipo R, em função da proporção de plantas. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2011. (●) PR do cultivar de trigo, (■) PR do biótipo R e (▲) PRT. Linhas tracejadas representam as produtividades relativas hipotéticas, quando não ocorre interferência de uma espécie sobre a outra.

A produtividade relativa total (PRT) observada foi próximo dos valores esperados (Figura 1), não havendo diferença significativa em relação à reta hipotética (Tabela 1). Isso caracteriza concorrência ou competição pelo(s) mesmo(s) recurso(s), sendo o trigo prejudicado pela espécie daninha, mas a produtividade final não diferiu da produtividade esperada (RADOSEVICH, 1987).

Tabela 1- Diferenças relativas de produtividade (DPR) e produtividade relativa total (PRT), para matéria seca da parte aérea, nas proporções 75/25, 50/50 e 25/75 de plantas de trigo associadas com o biótipo R. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012

Proporções de plantas (trigo x biótipo R)			
Matéria seca da parte aérea			
	75/25	50/50	25/75
DPR trigo	-0,04 ( $\pm 0,03$ ) <sup>ns</sup>	-0,11 ( $\pm 0,02$ )*	-0,10 ( $\pm 0,01$ )*
DPR biótipo R	0,07 ( $\pm 0,01$ )*	0,11 ( $\pm 0,02$ )*	0,08 ( $\pm 0,05$ ) <sup>ns</sup>
PRT	1,02 ( $\pm 0,03$ ) <sup>ns</sup>	1,00 ( $\pm 0,03$ ) <sup>ns</sup>	0,98 ( $\pm 0,04$ ) <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> Não significativo, \* significativo a 5% ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste t. Valores entre parênteses representam o erro-padrão da média.

Os índices de competitividade mostram que o biótipo R foi mais competitivo que a cultura do trigo, pois  $CR < 1$ ,  $K_T < K_S$  e  $A < 0$ , ambos foram significativos (Tabela 2). Esses resultados apontam que a planta daninha foi mais competitiva, dominante e mais agressiva em relação à cultura.

Tabela 2- Índices de competitividade de trigo e biótipo R, expressos por competitividade relativa (CR), coeficientes de agrupamento relativo (K) e agressividade (A). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012

Matéria seca parte aérea (trigo x biótipo R)			
CR	$K_T$ = trigo	$K_S$ = biótipo R	A
0,65( $\pm 0,04$ )*	0,65( $\pm 0,05$ )*	1,56( $\pm 0,15$ )*	-0,21( $\pm 0,03$ )*

<sup>ns</sup> Não significativo, \* significativo a 5% ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste t. Valores entre parênteses representam o erro-padrão da média.



A resposta do trigo à interferência de biótipo R em diferentes proporções de plantas indicou diferença significativa apenas na produtividade de MSPA do trigo em relação ao monocultivo quando a cultura encontrava-se em menor proporção que a planta daninha (Tabela 3). Isso significa que houve competição interespecífica com prejuízos a cultura. Essa afirmação está de acordo com Wandscheer (2012) que observou competição interespecífica entre milho e *Eleusine indica*, sendo a produtividade de MSPA do milho prejudicado quando a planta daninha encontrava-se em maior proporção.

Rigoli et al. (2008) ao trabalhar com trigo e *R. raphanistrum* em experimento substitutivo, observou que a espécie daninha foi mais competitiva que a cultura, ocorrendo competição pelos mesmos recursos. Já Yamauti et al. (2011) observaram que plantas de *Triticum turgidosecale* foram mais eficiente em capturar recursos do meio que *Raphanus raphanistrum*, portanto, a cultura mostrou-se melhor competidora que a planta daninha.

Tabela 3- Resposta do trigo à interferência com biótipo R, aos 60 dias após a emergência. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012

MSPA <sup>1/</sup> (g)	Proporções de plantas (trigo x biótipo R)					
	100/0 (T)	75/25	50/50	25/75	0/100 (T)	CV (%)
Trigo	5,79	5,54	4,35	3,33*	-	21,9
Biótipo R	-	8,15	8,99	10,39	10,23	19,2

<sup>1/</sup> Matéria seca da parte aérea. \* Média difere da testemunha (T) pelo teste de Dunnett (p≤ 0,05). <sup>ns</sup> Não difere.

Para a análise gráfica dos resultados referentes à PR da MSPA demonstrou que o biótipo S foi mais competitivo que o trigo, sendo a PR da planta daninha representada por uma linha convexa e a da cultura representada por uma linha côncava, em relação às retas hipotéticas (Figura 2). Em relação a PR do trigo e do biótipo S, as diferenças foram significativas em todas as proporções. Já para a PRT, os valores foram significativos nas proporções 75:25 e 50:50 (Tabela 4).

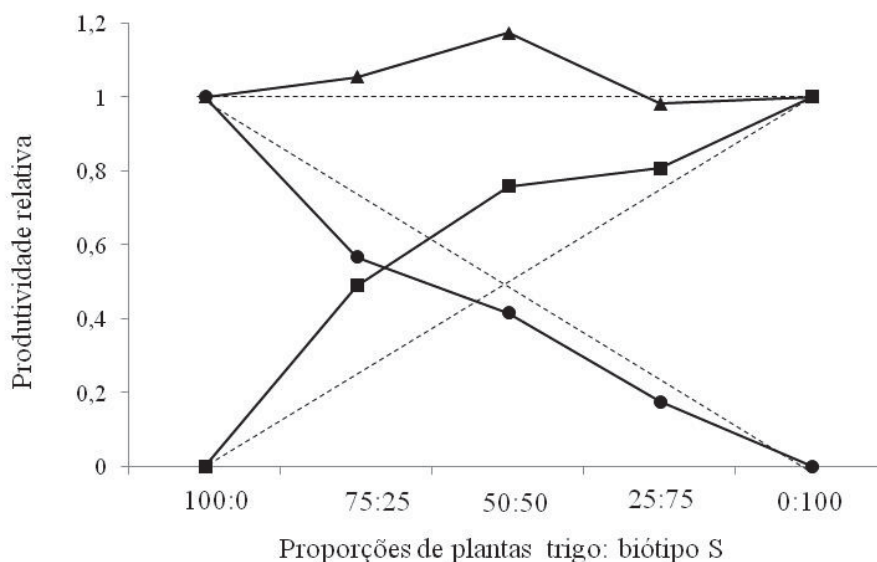


Figura 2- Produtividade relativa (PR) e total (PRT) para matéria seca da parte aérea de plantas de trigo e biótipo S, em função da proporção de plantas. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2011. (●) PR do cultivar de trigo, (■) PR do biótipo S e (▲) PRT. Linhas tracejadas representam as produtividades relativas hipotéticas, quando não ocorre interferência de uma espécie sobre a outra.

Nessas proporções, a PRT foi maior que 1, caracterizado por uma linha convexa em relação a reta hipotética, mostrando que não ocorreu competição entre as espécies. Isso ocorre por que os recursos do meio superaram a demanda de ambas as espécies ou por que as espécies possuem diferentes demandas pelos recursos do ambiente (RIGOLI et al., 2008). Esse comportamento, principalmente na proporção em que as espécies se equivalem, demonstrou que a planta daninha é mais agressiva que a cultura e contribui mais que o esperado para o rendimento da PRT de MSPA (RADOSEVICH, 1987).

Tabela 4- Diferenças relativas de produtividade (DPR) e produtividade relativa total (PRT), para matéria seca da parte aérea, nas proporções 75/25, 50/50 e 25/75 de plantas de trigo associadas com o biótipo S. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012

	Proporções de plantas (trigo x biótipo S)		
	Matéria seca da parte aérea		
	75/25	50/50	25/75
DPR trigo	-0,18 ( $\pm 0,02$ )*	-0,09 ( $\pm 0,01$ )*	-0,07 ( $\pm 0,01$ )*
DPR biótipo S	0,24 ( $\pm 0,01$ )*	0,26 ( $\pm 0,02$ )*	0,06 ( $\pm 0,03$ )*
PRT	1,05 ( $\pm 0,01$ )*	1,17 ( $\pm 0,01$ )*	0,98 ( $\pm 0,06$ ) <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> Não significativo, \* significativo a 5% ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste t. Valores entre parênteses representam o erro-padrão da média.

Houve diferença significativa em todos os índices de competitividade (Tabela 5). O biótipo S demonstrou ser mais competitivo e dominante e, possuir maior agressividade em relação ao trigo, pois obteve os resultado da  $CR < 1$ ,  $K_T < K_S$  e  $A < 0$ . Através da

interpretação conjunta desses valores, é possível afirmar que o biótipo S possui maior habilidade competitiva que o trigo (COUSENS, 1991). Esses resultados estão de acordo com os índices de competitividade do trigo em competição com o biótipo R, demonstrando que biótipo R e S exercem habilidade competitiva semelhante quando submetidos à competição com trigo.

Tabela 5- Índices de competitividade de trigo e biótipo S, expressos por competitividade relativa (CR), coeficientes de agrupamento relativo (K) e agressividade (A). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012

Matéria seca parte aérea (trigo x biótipo S)			
CR	K <sub>T</sub> = trigo	K <sub>S</sub> = biótipo S	A
0,55(±0,02)*	0,71(±0,02)*	3,21(±0,30)*	-0,34(±0,03)*

<sup>ns</sup> Não significativo, \* significativo a 5% ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste t. Valores entre parênteses representam o erro-padrão da média.

Em ensaios de competição entre plantas de soja e *Raphanus sativus* foi verificado que a planta daninha possui habilidade competitiva superior à cultura (BIANCHI et al., 2006). Resultados em que *R. sativus* foi mais competitivo que a cultura da soja também foram relatados em trabalhos realizados por Fleck et al. (2006) e Bianchi et al. (2011).

Galon et al. (2011) verificaram maior habilidade competitiva para *Lolium multiflorum* comparado com cultivares de *Hordeum vulgare*. Estorninos Jr. et al. (2002) verificaram que cultivares de arroz demonstraram competitividade inferior ou semelhante em relação a biótipos de arroz vermelho.

Ao comparar a resposta da cultura à interferência com o competidor observou-se decréscimo significativo na produção de MSPA quando o trigo estava em menor proporção (Tabela 6). Isso aponta que houve competição interespecífica. No biótipo S a competição interespecífica também teve efeito significativo, havendo decréscimo de MSPA quando a planta daninha encontrava-se em menor e igual proporção da cultura. Esses resultados corroboram com a ideia de Eslami et al. (2006) que quando aumentaram a densidade de trigo de 100 para 400 plantas  $m^{-2}$ , conseqüentemente reduziu a matéria seca de *R. raphanistrum* para valores inferiores a 50%. Cousens et al. (2001) cultivaram trigo e *R. raphanistrum* em monocultura e misturas onde estudaram a competição entre as duas espécies até a antese do trigo. Eles concluíram que a presença do trigo aumentou a estatura e área foliar específica de *R. raphanistrum*, mas reduziu a matéria seca e número de sementes dessa planta daninha. Agostinetto et al. (2008) relataram que *Echinochloa* spp. foi mais competitiva que cultivares de arroz irrigado.

Tabela 6- Resposta do trigo à interferência com o biótipo S, aos 60 dias após a emergência. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012

MSPA <sup>1/</sup> (g)	Proporções de plantas (trigo x biótipo S)					CV (%)
	100/0 (T)	75/25	50/50	25/75	0/100 (T)	
Trigo	6,18	4,71	5,07	4,40*	-	15,7
biótipo S	-	7,18*	7,64*	10,89	13,79	22,5

<sup>1/</sup> Matéria seca da parte aérea. \* Média difere da testemunha (T) pelo teste de Dunnett ( $p \leq 0,05$ ). <sup>ns</sup> Não difere.

Por outro lado, há relatos em que a cultura possui maior habilidade competitiva comparada a planta daninha. Passini et al. (2003) verificaram que a competição intraespecífica foi mais importante em *Phaseolus vulgaris* do que em *Brachiaria plantaginea*, sendo a competitividade da cultura superior à planta daninha. O sorgo cultivado apresentou habilidade competitiva superior ao *Sorghum halepense* (HOFFMAN & BUHLER, 2002). *Phaseolus vulgaris* foi mais competitivo que cinco espécies de *Amaranthus* (CARVALHO & CHRISTOFFOLETI, 2008). Soja e milho demonstraram superioridade competitiva em relação *Sorghum sudanense* (WANDSCHEER, 2012).

A análise gráfica dos resultados da PR e PRT referente à produção de MSPA no biótipo R e biótipo S demonstrou comportamento semelhante, onde os valores obtidos não diferiram significativamente dos valores esperados em todas as proporções (Figura 3 e Tabela 7). Isso indica que os biótipos R e S não tiveram a produção de MSPA afetada negativamente pela associação e ambos conseguem crescer como estivessem em estande puro, não havendo competição entre eles. Observa-se que em todas as proporções de plantas os valores da PRT foram maiores que 1, sendo a competição evitada pelo fato de o suprimento de recursos ser superior a demanda. Mas como não houve significância para a PRT, esses resultados sugerem que os biótipos R e S competiram de forma semelhante pelos recursos do meio.

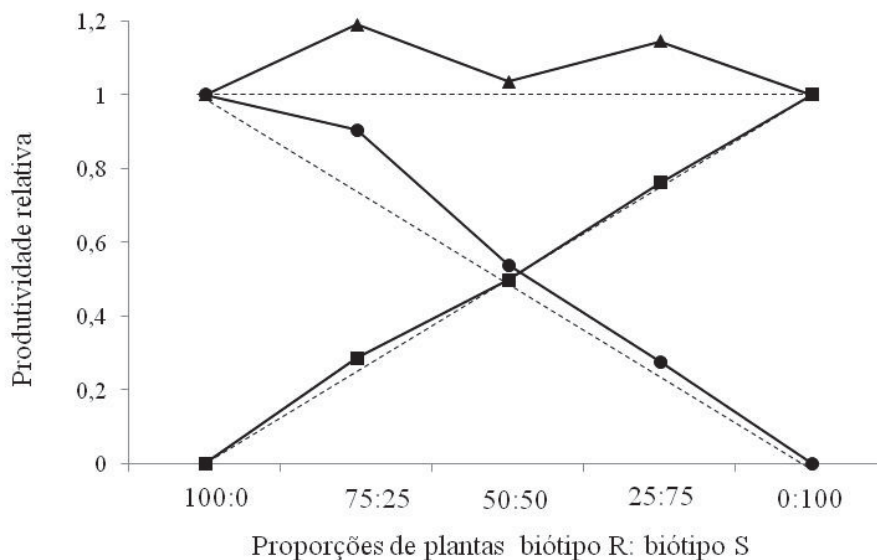


Figura 3- Produtividade relativa (PR) e total (PRT) para matéria seca da parte aérea de plantas do biótipo R e biótipo S, em função da proporção de plantas. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2011. (●) PR do biótipo R, (■) PR do biótipo S e (▲) PRT. Linhas tracejadas representam as produtividades relativas hipotéticas, quando não ocorre interferência de uma espécie sobre a outra.

A análise gráfica da variável área foliar (AF) mostra que os dois biótipos obtiveram ganhos acima dos valores esperados (Figura 4). A PR e PRT dos biótipos estão representadas por linhas convexas indicando haver benefícios mútuos entre eles. Os desvios da PR e PRT apresentaram diferenças significativas em todas as proporções de plantas (Tabela 7).

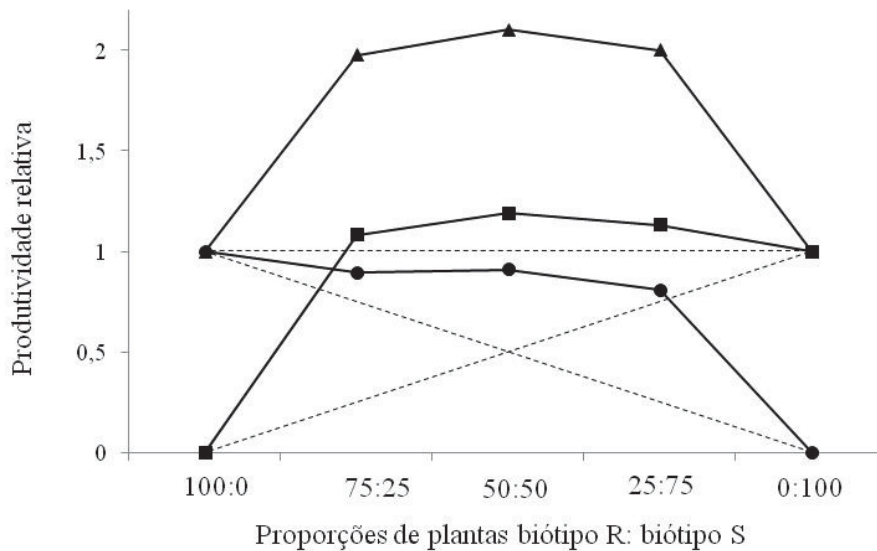


Figura 4- Produtividade relativa (PR) e total (PRT) para área foliar ( $\text{cm}^2$ ) de plantas do biótipo R e biótipo S, em função da proporção de plantas. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2011. (●) PR do biótipo R, (■) PR do biótipo S e (▲) PRT. Linhas tracejadas representam as produtividades relativas hipotéticas, quando não ocorre interferência de uma espécie sobre a outra.

O sinergismo verificado entre os biótipos R e S pode estar ligado ao fato de que a quantidade de recursos disponíveis tenha sido suficiente para ambas as espécies ou, a densidade de plantas utilizada tenha sido inferior àquela que o ambiente toleraria, não havendo competição. Isso foi confirmado por Rizzardi et al. (2004) que ao trabalharem com associação entre plantas de soja e as espécies daninhas *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea ramosissima*, observaram que ocorre benefício mútuo entre as espécies. Quando em misturas as espécies produziram maiores quantidades de biomassa que nos respectivos monocultivos.



Tabela 7- Diferenças relativas de produtividade (DPR) e produtividade relativa total (PRT), para matéria seca da parte aérea (MSPA) e área foliar (AF), nas proporções 75/25, 50/50 e 25/75 de plantas do biótipo R, associadas com o biótipo S. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012

Proporções de plantas (biótipo R x biótipo S)			
MSPA	75/25	50/50	25/75
DPR biótipo R	-0,15 ( $\pm 0,12$ ) <sup>ns</sup>	-0,04 ( $\pm 0,07$ ) <sup>ns</sup>	0,03 ( $\pm 0,06$ ) <sup>ns</sup>
DPR biótipo S	0,04 ( $\pm 0,04$ ) <sup>ns</sup>	0,00 ( $\pm 0,09$ ) <sup>ns</sup>	0,12 ( $\pm 0,13$ ) <sup>ns</sup>
PRT	1,19 ( $\pm 0,13$ ) <sup>ns</sup>	1,04 ( $\pm 0,06$ ) <sup>ns</sup>	1,15 ( $\pm 0,15$ ) <sup>ns</sup>
AF	75/25	50/50	25/75
DPR biótipo R	0,14 ( $\pm 0,02$ )*	0,41 ( $\pm 0,12$ )*	0,56 ( $\pm 0,11$ )*
DPR biótipo S	0,83 ( $\pm 0,09$ )*	0,69 ( $\pm 0,19$ )*	0,44 ( $\pm 0,11$ )*
PRT	1,97 ( $\pm 0,11$ )*	2,10 ( $\pm 0,28$ )*	1,90 ( $\pm 0,25$ )*

<sup>ns</sup> Não significativo, \* significativo a 5% ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste t. Valores entre parênteses representam o erro-padrão da média.

Através dos resultados obtidos pelos índices de competitividade, nota-se que não houve dominância significativa entre os biótipos R e S, com relação à MSPA e AF (Tabela 8). Isso mostra que os biótipos possuem as mesmas características em relação à adaptabilidade ecológica, não exercendo competição um sobre o outro, nessas condições experimentais. É provável que, quando em convivência entre si, possua a mesma competitividade, sendo a dominância numérica de um biótipo sobre o outro decorrente apenas da pressão de seleção causada pelo herbicida (CHRISTOFFOLETI, 2001).

Tabela 8- Índices de competitividade do biótipo R e biótipo S, expressos por competitividade relativa (CR), coeficientes de agrupamento relativo (K) e agressividade (A). FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012

Matéria seca parte aérea (biótipo R x biótipo S)			
CR	K <sub>R</sub> = biótipo R	K <sub>S</sub> = biótipo S	A
1,25(±0,30) <sup>ns</sup>	1,31(±0,31) <sup>ns</sup>	1,28(±0,54) <sup>ns</sup>	0,07(±0,14) <sup>ns</sup>
Área foliar (cm <sup>2</sup> ) (biótipo R x biótipo S)			
0,80(±0,12) <sup>ns</sup>	16,25(±16,15) <sup>ns</sup>	4,22(±5,24) <sup>ns</sup>	-0,28(±0,16) <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> Não significativo a 5% ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste t. Valores entre parênteses representam o erro-padrão da média.

Ao verificar a resposta do biótipo R à interferência com o biótipo S, observou-se que, para a variável MSPA, não houve diferença significativa, não existindo competição entre eles. Já para AF houve diferença significativa quando o biótipo R encontrava-se em menor proporção (Tabela 9). O biótipo R prefere conviver com plantas do biótipo S onde a produção de AF foi maior que em monocultivo, sofrendo competição intraespecífica. O contrário ocorre com o biótipo S, sendo menos eficiente em competir pelos recursos do meio em relação ao biótipo R. Isso pode estar relacionado ao fato que o biótipo R chegou ao florescimento duas semanas anteriormente à colheita da parte aérea, enquanto o biótipo S encontrava-se em florescimento. Assim, o biótipo R necessitou de maiores quantidades de nutrientes no estágio de florescimento, havendo competição intraespecífica. Já no biótipo S, não permaneceu em florescimento o mesmo período que o biótipo R, desse modo, a quantidade de

nutriente despendido foi menor, sofrendo competição quando estava em consórcio com o biótipo R.

Tabela 9- Resposta do biótipo R, à interferência com o biótipo S, aos 60 dias após a emergência. FAMV-UPF, Passo Fundo, RS, 2012

Proporções de plantas (biótipo R x biótipo S)						
MSPA <sup>1/</sup> (g)	100/0 (T)	75/25	50/50	25/75	0/100 (T)	CV (%)
Biótipo R	4,99	6,02	5,37	5,50	-	29,9
Biótipo S	-	5,61	6,51	5,59	6,42	28,0
AF <sup>2/</sup>						
Biótipo R	307	365	559	866*	-	41,3
Biótipo S	-	286*	456*	683*	1240	23,6

<sup>1/</sup> Matéria seca da parte aérea. <sup>2/</sup> Área foliar (cm<sup>2</sup>). \* Média difere da testemunha (T) pelo teste de Dunett (p ≤ 0,05).

A habilidade competitiva de biótipos de *Digitaria ciliaris*, resistente e suscetível aos inibidores da ACCase, foi semelhante e ambos possuem a mesma adaptabilidade ecológica, mas com menor habilidade competitiva que a cultura da soja (OVEJERO et. al., 2007). Não houve diferenças significativas na habilidade competitiva entre biótipos resistente e suscetível de *Bidens subalternans* (LAMEGO et al., 2011). Biótipo de *Bidens pilosa* suscetível aos inibidores de ALS teve maior acúmulo de matéria seca nas primeiras fases de crescimento em relação ao resistente, mas no final do ciclo igualaram-se estes quesitos, não havendo diferenças entre eles (CHRISTOFFOLETI, 2001). Dal Magro et al. (2011) também verificaram equivalência na habilidade competitiva de *Cyperus*

*difformis* resistente e suscetível aos inibidores de ALS. Já Ferreira et al. (2008) observaram que biótipos de *Lolium multiflorum* suscetível ao glifosato mostrou-se mais competitivo que o biótipo resistente a este herbicida.

Dessa forma, os resultados dessa pesquisa demonstram que os biótipos R e S possuem habilidade competitiva superior a cultivar de trigo Quartzo<sup>®</sup> e, de forma geral, não há diferença na habilidade competitiva entre os biótipos resistente e suscetível aos herbicidas inibidores de ALS em condições experimentais de série substitutiva. Assim, a única maneira de população de *R. raphanistrum* resistente obter vantagens ao se estabelecer na lavoura, em relação à população suscetível, é pela seleção imposta pelos herbicidas inibidores de ALS.

#### 4 CONCLUSÕES

Os biótipos de *Raphanus raphanistrum* resistente e suscetível aos herbicidas inibidores de ALS, possuem habilidade competitiva superior a cultivar de trigo Quartzo<sup>®</sup>.

A competitividade de *R. raphanistrum* resistente e suscetível aos herbicidas inibidores da enzima ALS é semelhante, não havendo domínio de um biótipo sobre o outro.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Confirma-se que o biótipo de *R. raphanistrum* possui resistência ao herbicida metsulfurom metílico. Essa resistência é classificada como de nível elevado, o que inviabiliza o controle dessa planta daninha com esse herbicida. Esse biótipo demonstrou resistência cruzada a todos os herbicidas ALS testados neste estudo. Confirmando-se a hipótese levantada nesta pesquisa.

Através desses resultados pode-se ter como alerta que o uso repetitivo de um mesmo herbicida, traz consequências que podem comprometer o controle de plantas daninhas e, conseqüentemente, a produção das culturas, principalmente onde o manejo químico depende de um ou poucos princípios ativos, no caso o trigo. O manejo químico com uso prolongado de um mesmo mecanismo de ação facilita a seleção de novas populações ou espécies resistentes, principalmente aos herbicidas ALS, onde a frequência de mutação a resistência inicial é de cerca de  $10^6$  ou inferior e os primeiros biótipos podem aparecer em cinco anos ou menos de uso indiscriminado desses herbicidas.

Mesmo tendo-se herbicidas que controlam biótipos de *R. raphanistrum* resistente aos inibidores de ALS, como o glifosato, 2,4-D, bentazona e atrazina, é essencial aliar ao controle químico, métodos culturais, como: semeadura no limpo, sementes de procedência idônea, cultivares mais competitivas, densidade adequada da cultura, cobertura de solo, rotação de culturas e limpeza de

máquinas. Isso evita a competição e disseminação de sementes para novas áreas.

A convivência do biótipo de *R. rapahnistrum* com trigo, demonstrou que a planta daninha possui habilidade competitiva superior a cultura, não sendo diferente entre biótipo resistente e suscetível. Esses resultados não podem ser extrapolados a campo, pois além de haver maior número de espécies envolvidas, a densidade pode ser diferente daquelas testadas em estudos, o que pode mudar o ritmo de competição, interferindo nos resultados. Para obter dados mais concretos, é necessário realizar trabalhos a fim de avaliar a competição dessa planta daninha a campo, para comparar com os resultados obtidos em casa de vegetação.

## REFERÊNCIAS

AFIFI, M.; SWANTON, C. Early physiological mechanisms of weed competition. *Weed Science*, v. 60, n. 4, p. 542-551, 2012.

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*, v. 26, n. 4, p. 757-766, 2008.

BECKIE, H. J.; WARWICK, S. I.; SAUDER, C. A. Acetolactate synthase (ALS) inhibitor-resistant wild buckwheat (*Polygonum convolvulus*) in alberta. *Weed Technology*, v. 26, n. 1, p. 156-160, 2012.

BIANCHI, M. A.; FLECK, N. G.; LAMEGO, F. P. Proporção entre plantas de soja e plantas competidoras e as relações de interferência mútua. *Ciência Rural*, v. 36, n. 5, p. 1380-1387, 2006.

BIANCHI, M. A.; FLECK, N. G.; AGOSTINETTO, D.; RIZZARDI, M. A. Interferência de *Raphanus sativus* na produtividade de cultivares de soja. *Planta Daninha*, v. 29, n. 4, p. 783-792, 2011.

BOOTH, B. D.; MURPHY, S. D.; SWANTON, C. J. Interactions between populations I: competition and allelopathy. In: BOOTH, B. D.; MURPHY, S. D.; SWANTON, C. J. *Weed ecology in natural and agricultural Systems*. Wallingford: CAB International, 2003. 288 p.

BRAIN, P.; COUSENS, R. An equation to describe dose responses where there is stimulation of growth at low doses. *Weed Research*, v.29, n. 2, p.93-96, 1989.

BROWN, H. M. Mode of action, crop selectivity, and soil relations of the sulfonylurea herbicides. *Pesticide Science*, v. 29, n. 3, p. 263-281, 1990.

CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Competition of *Amaranthus* species with dry bean plants. *Scientia Agricola*, v. 65, n. 3, p. 239-245, 2008.

CHEAM, A. H.; CODE, G. R. The biology of Australian weeds. 24. *Raphanus raphanistrum* L. *Plant Protection Quarterly*, v. 10, n. 1, p. 2-13, 1995.

CHRISTOFFOLETI, P. J. Análise comparativa do crescimento de biótipos de picão-preto (*Bidens pilosa*) resistente e suscetível aos herbicidas inibidores da ALS. *Planta Daninha*, v. 19, n. 1, p. 75-83, 2001.

CHRISTOFFOLETI, P. J. Curvas de dose-resposta de biótipos resistente e suscetível de *Bidens pilosa* L. aos herbicidas inibidores da ALS. *Scientia Agrícola*, v. 59, n. 3, p. 513-519, 2002.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; FILHO, R. V.; SILVA, C. B. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. *Planta Daninha*, v. 12, n. 1, p. 13-20, 1994.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. Resistência das plantas daninhas a herbicidas: definições, bases e situação no Brasil e no mundo. In: CHRISTOFFOLETI, P. J. (Coord.) *Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas*. 3. ed., rev. e atual, Piracicaba: Associação Brasileira de Ação a resistência de Plantas aos Herbicidas (HRAC-BR), 2008, p. 9-34.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; MEDEIROS, D.; MONQUEIRO, P. A.; PASSINI, T. Plantas daninhas à cultura da soja: controle químico e resistência a herbicidas. In: CÂMARA, G.M.S. (Ed.) *Soja: tecnologia da produção*. Piracicaba: ESALQ, 2000. p. 179-202.

CHRISTOPHER, J. T.; POWLES, S. B.; HOLTUM, J. A. M. Resistance to acetolactate synthase-inhibiting herbicides in annual ryegrass (*Lolium rigidum*) involves at least two mechanisms. *Plant Physiology*, v. 100, n. 4, p. 1909-1913, 1992.



CODE, G. R.; DONALDSON, W. Effect of cultivation, sowing methods and herbicides on wild radish populations in wheat crops. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 36, n. 34, p. 437-442, 1996.

COUSENS, R. Aspects of the design and interpretation of competition (interference) experiments. *Weed Technology*, v.5, n.3, p. 664-673, 1991.

COUSENS, R.; WARRINGA, J. W.; CAMERON, J. E.; HOY, V. Early growth and development of wild radish (*Raphanus raphanistrum* L.) in relation to wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 52, n. 7, p. 755-769, 2001.

DAL MAGRO, T.; REZENDE, S. T.; AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L.; SILVA, A. A.; FALKOSKI, D. L. Propriedades enzimáticas da enzima ALS de *Cyperus difformis* e mecanismo de resistência da espécie ao herbicida pyrazosulfuron-ethyl. *Ciência Rural*, v. 40, n. 12, p. 2439-2445, 2010.

DAL MAGRO, T.; SCHAEGLER, C. E.; FONTANA, L. C.; AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L. Habilidade competitiva entre biótipos de *Cyperus difformis* L. resistente ou suscetível a herbicidas inibidores de ALS e destes com arroz irrigado. *Bragantia*, v. 70, n. 2, p. 294-301, 2011.

DYER, W. E.; CHEE, P. W.; FAY, P. K. Rapid germination of sulfonylurea-resistant *Kochia scoparia* L. accessions is associated with elevated seed levels of branched chain amino acids. *Weed Science*, v. 41, n. 1, p. 18-22, 1993.

EBERLEIN, C. V.; GUTTIERI, M. J.; BERGER, P. H.; FELLMAN, J. K.; MALLORY-SMITH, C. A.; THILL, D. C.; BAERG, R. J.; BELKNAP, W. R. Physiological consequences of mutation for ALS-inhibitor resistance. *Weed Science*, v. 47, n. 4, p. 383-392, 1999.

ESLAMI, S. V.; GILL, G. S.; BELLOTTI, B.; MCDONALD, G. Wild radish (*Raphanus raphanistrum*) interference in wheat. *Weed Science*, v. 54, n. 4, p. 749-756, 2006.

ESTORNINOS JR., L. E.; GEALY, D. R.; TALBERT, R. E. Growth response of rice (*Oryza sativa*) and red rice (*O. sativa*) in a replacement series study. *Weed Technology*, v. 16, n. 2, p. 401-406, 2002.

FERREIRA, E. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, A. A.; REIS, M. R.; VARGAS, L.; VIANA, R. G.; GUIMARÃES, A. A.; GALON, L. Potencial competitivo de biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*). *Planta Daninha*, v. 26, n. 2, p. 261-269, 2008.

FERRI, M. V. W.; VIDAL, R. A. Controle de plantas daninhas com herbicidas cloroacetamidas em sistemas convencional e de semeadura direta. *Planta Daninha*, v. 21, n. 1, p. 131-136, 2003.

FLECK, N. G.; AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; SCHAEGLER, C. E. Competitividade relativa entre cultivares de arroz irrigado e biótipo de arroz-vermelho. *Planta Daninha*, v. 26, n. 1, p. 101-111, 2008.

FLECK, N. G.; BIANCHI, M. A.; RIZZARDI, M. A.; AGOSTINETTO, D. Interferência de *Raphanus sativus* sobre cultivares de soja durante a fase vegetativa de desenvolvimento da cultura. *Planta Daninha*, v. 24, n. 3, p. 425-434, 2006.

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*, v. 29, n. 4, p. 771-781, 2011.

GILL, G. S.; COUSENS, R. D.; ALLAN, M. R. Germination, growth, and development of herbicide resistant and susceptible populations of rigid ryegrass (*Lolium rigidum*). *Weed Science*, v. 44, n. 2, p. 252-256, 1996.

HALL, L. M.; DEVINE, M. D. Cross-resistance of a chlorsulfuron-resistant biotype of *Stellaria media* to a triazolopyrimidine herbicide. *Plant Physiology*, v. 93, n. 3, p. 962-966, 1990.

HALL, L. M.; HOLTUM, J. A. M.; POWLES, S. B. Mechanisms responsible for cross resistance and multiple resistance. In POWLES, S. B.; HOLTUM, A. M. *Herbicide Resistance in Plants: Biology and Biochemistry*. Boca Raton, Lewis Publishers, 1994, p. 243-261.

HALL, L. M., STROME, K. M., HORSMAN, G. P. Resistance to acetolactate synthase inhibitors and quinclorac in a biotype of false clover (*Gallium spurium*). *Weed Science*, v. 46, n. 4, p. 390-396, 1998.

HAN, H.; YU, Q.; PURBA, E.; WALSH, M. L. M.; FRIESEN, S.; POWLES, S. B. A novel amino acid substitution Ala-122-Tyr in ALS confers high-level and broad resistance across ALS-inhibiting herbicides. *Pest Management Science*, v. 68, n. 8, p. 1164-1170, 2012.

HASHEM, A.; BOWRAN, D.; PIPER, T.; DHAMMU, A. Resistance of wild radish (*Raphanus raphanistrum*) to acetolactate synthase-inhibiting herbicides in the western Australia wheat belt weed. *Weed Technology*, v. 15, n. 1, p. 68-74, 2001.

HASHEM, A.; WILKINS, N. Competitiveness and persistence of wild radish (*Raphanus raphanistrum* L.) in a wheat-lupin rotation. In: AUSTRALIAN WEEDS CONFERENCE, 13., 2006, Perth, Australia. *Anais...* Council of Australian: Weed Science Society, 2002. p. 712-715.

HEAP, I. *International Survey of Herbicide resistant Weeds*. Disponível em: <http://www.weedscience.org/In.asp>>. Acesso em: 05 jan. 2013.

HEAP, I. M. Identification and documentation of herbicide resistance. *Phytoprotection*, vol.75, n.4, p. 85-90, 1994.

HOFFMAN, M. L.; BUHLER, D. D. Utilizing *Sorghum* as a functional model of crop-weed competition. I. Establishing a competitive hierarchy. *Weed Science*, v.50, n.4, p.466-472, 2002.

HRAC. *Herbicide Resistance Action Committee*. Disponível em: <<http://www.hracglobal.com/>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

KAMALA, T. A study on the cytogenetic homeologies between *Raphanus* and *Brassica* genomes. *Indian Journal Botânica*, v. 6, n. 2, p. 131-140, 1983.

KISSMANN, K.G.; GROTH, D. *Plantas infestantes e nocivas*. Tomo II, 2 ed. São Paulo: Basf Brasileira, 1999, 978 p.

KOGER, C. H.; POSTON, D. H.; REDDY, K. N. Effect of glyphosate spray coverage on control of pitted morningglory (*Ipomoea lacunosa*). *Weed Technology*, v. 18, n. 1, p. 124-130, 2004.

LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A.; BURGOS, N. R.. Competitiveness of ALS inhibitors resistant and susceptible biotypes of Greater Beggarticks (*Bidens subalternans*). *Planta Daninha*, v. 29, n. 2, p. 457-464, 2011.

LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M.; PENCKOWSKI, L. H.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Resistência de populações de capim-colchão (*Digitaria ciliaris*) aos herbicidas inibidores da acetil Co-A carboxilase. *Planta Daninha*, v. 23, n. 3, p. 543-549, 2005.

LORENZI, H. *Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional*. 6. Ed. Nova Odessa: Plantarum, 2006. 339 p.

MARCHIORO, V. S.; FRANCO, F. A. *Informações técnicas para trigo e triticale - safra 2011*. Cascavel, Coodetec. Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2010, 170 p.

MONQUEIRO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; DIAS, C. T. S. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da ALS na cultura da soja (*Glycine max*). *Planta Daninha*, v. 18, n. 3, p. 419-425, 2000.

MOREIRA, H. J. C.; BRAGANÇA, H. B. N. *Manual de identificação de plantas infestantes*. Cultivos de verão. Campinas, SP: FMC, 2010, 642 p.

MORRISON, I. N.; BOURGEOIS, L. Approaches to managing ACCase inhibitor resistance in wild oat on the Canadian prairies. Brighton Cop Protection Conference: Weeds, *Proceedings of an international conference*, 1995, p. 567-576.

MOSS, S. *Detecting herbicide resistance: Guidelines for conducting diagnostic tests and interpreting results*, 1999. Disponível em: <http://www.hracglobal.com/Publications/DetectingHerbicideResistance.aspx>. Acesso em: Jan. 2011.

NEVILL, D.; CORNES, D.; HOWARD, S. *Weed resistance: The Role of HRAC in the Management of Weed Resistance*. Pesticide Outlook, 1998. Disponível em: < <http://www.hracglobal.com/Publications/HRACManagementandWeedResistance.aspx>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

OVEJERO, R. F. L.; NOVO, M. C. S. S.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Crescimento e competitividade de biótipos de capim-colchão resistente e suscetível aos herbicidas inibidores da acetil coenzima A carboxilase. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 1, p. 1-8, 2007.

PARK, S. E.; BENJAMIN, L. R.; WATKINSON, A. R. Comparing biological productivity in cropping systems: a competition approach. *Journal of Applied Ecology*, v. 39, n. 3, p. 416-426, 2002.

PASSINI, T.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; YADA, I. F. U. Competitivity of the common-bean plant relative to the weed alexandergrass (*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitch.). *Scientia Agricola*, v. 60, n. 2, p. 259-268, 2003.

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

POWLES, S. B.; PRESTON, C. *Herbicide cross resistance and multiple resistance in plants*. Disponível em: <http://www.hracglobal.com/Publications/HerbicideCrossResistanceandMultipleResistance.aspx>. Acesso em: 14 jan. 2013.

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

RADOSEVICH, S. R. Methods to study interactions among crops and weeds. *Weed Technology*, v. 1, n. 3, p. 190-198, 1987.

RADOSEVICH, S. R.; HOLT, J. S.; GHERSA, C. M. Plant-plant associations. In: RADOSEVICH, S.R.; HOLT, J.S.; GHERSA, C.M. *Ecology of weeds and invasive plants: relationship to agriculture and natural resource management*. 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007. 454p.

RIGOLI, R. P.; AGOSTINETTO, D.; SCHAEGLER, C. E.; DAL MAGRO, T.; TIRONI, S. Habilidade competitiva relativa do trigo (*Triticum aestivum*) em convivência com azevém (*Lolium multiflorum*) ou nabo (*Raphanus raphanistrum*). *Planta Daninha*, v. 26, n. 1, p. 93-100, 2008.

RIZZARDI, M. A., FLECK, N. G., MUNDSTOCK, C. M., BIANCHI, M. A. Perdas de rendimento de grãos de soja causadas por interferência de picão-preto e guaxuma. *Ciência Rural*, v. 33, n. 4, p. 621-627, 2003.

RIZZARDI, M. A.; ROMAN, E. S.; BOROWSKI, D. Z. and MARCON, R. Interferência de populações de *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea ramosissima* isoladas ou em misturas sobre a cultura de soja. *Planta Daninha*, vol. 22, n. 1, p. 29-34, 2004.

RIZZARDI, M. A.; VIDAL, R. A.; FLECK, N. G.; AGOSTINETTO, D. Resistência de plantas aos herbicidas inibidores da acetolactato sintase. *Planta Daninha*, v. 20, n. 1, p. 149-158, 2002.

SAARI, L. L.; COTTERMAN, J. C.; PRIMIANI, M. M. Mechanism of sulfonylurea herbicide resistance in the broadleaf weed, *Kochia scoparia*. *Plant Physiology*, v. 93, n. 1, p. 55-61, 1990.

SAARI, L. L.; COTTERMAN, J. C.; THILL, D. C. Resistance to acetolactate synthase inhibiting herbicides. In: POWLES, S. B.; HOLTUM, A. M. *Ed. Herbicide Resistance in Plants: Biology and Biochemistry*. Boca Raton, Lewis Publishers, 1994. p. 83–139.

SAMPSON, D. R. Frequency and distribution of self-incompatibility alleles in *Raphanus raphanistrum*. *Genetics*, v. 56, n. 2, p. 241-251, 1967.

SCHLOSS, J. V. Acetolactate synthase, mechanism of action and its herbicide binding site. *Pesticide Science*, v. 29, n. 3, p. 283-292, 1990.

SCHMITZER, P. R.; EILERS, R. J.; CSÉKE, C. Lack of cross-resistance of imazaquin-resistant *Xanthium strumarium* acetolactate synthase to flumetsulam and chlorimuron. *Plant Physiology*, v. 103, n. 1, p. 281-283, 1993.

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

SHANER, D. L. Resistance to acetolactate synthase (ALS) inhibitors in the United States: history, occurrence, detection and management. *Journal of Weed Science and Technology*, v. 44, n. 4, p. 405-411, 1999.

STREIBIG, J. C. Herbicide bioassay. *Weed Research*, v. 28, n. 6, p. 479-484, 1988.

STREIBIG, J. C.; COMBELLACK, J. H.; PRITCHARD, G. H.; RICHARDSON, R. G. Estimation of thresholds for weed control in Australian cereals. *Weed Research*, v. 29, n. 2, p. 117-126, 1989.

THEISEN, G. Aspectos botânicos e relato a resistência de nabo silvestre aos herbicidas inibidores de ALS. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008, 26 p. (Documento 239).

TRANSEL, P. J.; WRIGHT, T. R. Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: what have we learned? Review. *Weed Science*, v. 50, n. 6, p. 700-712, 2002.

VARGAS, L. *Resistência de Euphorbia heterophylla L. aos herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS/AHAS)*. Controle químico de *Euphorbia heterophylla L.* resistente aos herbicidas inibidores da ALS. 2000. 58 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2000.

VARGAS, L.; SILVA, A. A.; BORÉM, A.; REZENDE, S. T.; FERREIRA, F. A.; SEDIYAMA, T. *Resistência de planta daninha a herbicidas*. Ed. 1. Viçosa-MG: UFV, 1999. 131 p.

VIDAL, R. A.; MEROTTO JR, A. Resistência de amendoim-bravo aos herbicidas inibidores de ALS. *Planta Daninha*, v. 17, n. 3, p. 367-373, 1999.

VILÀ, M.; WILLIAMSON, M.; LONSDALE, M. Competition experiments on alien weeds with crops: lessons for measuring plant invasion impact? *Biological Invasions*, v. 6, n. 1, p. 59-69, 2004.

WALSH, M. J.; DUANE, R. D.; POWLES, S. B. High frequency of chlorsulfuron-resistant wild radish (*Raphanus raphanistrum*) populations across the western Australian wheat belt. *Weed Technology*, v. 15, n. 2, p. 199-203, 2001.

WALSH, M. J.; POWLES, S. B.; BEARD, B. R.; PARKIN, B. T.; PORTER, S. A. Multiple-herbicide resistance across four modes of action in wild radish (*Raphanus raphanistrum*). *Weed Science*, v. 52, n. 1, p. 8-13, 2004.

WALSH, M. J.; FRIESEN, S.; POWLES, S. Frequency, distribution and mechanisms of herbicide resistance in Western Australian wild radish (*Raphanus raphanistrum L.*) populations: a review; Fifteenth Australian Weeds Conference, *Papers and Proceedings*, Western Australia, 2006, p. 484-487.



WALSH, M. J.; OWEN, M. J.; POWLES, S. B. Frequency and distribution of herbicide resistance in *Raphanus raphanistrum* populations randomly collected across the western Australian wheat belt. *Weed Research*, v. 47, n. 6, p. 542-550, 2007.

WALSH, M. J.; MAGUIRE, N.; POWLES, S. B. Combined effects of wheat competition and 2,4-D amine on phenoxy herbicide resistant *Raphanus raphanistrum* populations. *Weed Research*, v. 49, n. 3, p. 316-325, 2009.

WANDSCHEER, A. C. D. *Habilidade competitiva de soja e milho com espécies daninhas poáceas*. Habilidade competitiva de soja e milho em convivência com a espécie daninha *Eleusina indica*. 2012. 210 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2012.

WARWICK, S. I.; FRANCIS, A. The biology of Canadian weeds. 132. *Raphanus raphanistrum*. L. *Canadian Journal of Plant Science*, v. 85, n. 3, p. 709-733, 2005.

WILSON, J. B. Shoot competition and root competition. *Journal of Applied Ecology*, v. 25, n. 1, p. 279-296, 1988.

XU, B.; XU, W.; HUANG, J.; SHAN, L. Fengmin li biomass production and relative competitiveness of a C<sub>3</sub> legume and a C<sub>4</sub> grass co-dominant in the semiarid Loess Plateau of China. *Plant and Soil*, v. 347, n. 1-2, p. 25-39, 2011.

YAMAGISHI, H.; TERACHI, T. Multiple origins of cultivated radishes as evidenced by a comparison of the structural variations in mitochondrial DNA of *Raphanus*. *Genome*, v. 46, p. 89-94, 2003.

YAMANE, K.; LÜ, N.; OHNISHI, O. Chloroplast DNA variations of cultivated radish and its wild relatives. *Plant Science*, v. 168, n. 3, p. 627-634, 2005.

YAMAUTI, M. S.; ALVES, P. L. C. A.; CARVALHO, L. B. Interações competitivas de triticales (*Triticum turgidosecale*) e nabiça

(*Raphanus raphanistrum*) em função da população e proporção de plantas. *Planta Daninha*, v. 29, n. 1, p. 129-135, 2011.

YANG, Y.; TAI, P.; CHEN, Y; LI, W. A study of the phylogeny of *Brassica rapa*, *B. nigra*, *Raphanus sativus*, and their related genera using noncoding regions of chloroplast DNA. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, v. 23, n. 2, p. 268-275, 2002.

YU, Q.; HAN, H.; LI, M.; PURBA, E.; WALSH, M. J.; POWLES, S. B. Resistance evaluation for herbicide resistance-endowing acetolactate synthase (ALS) gene mutations using *Raphanus raphanistrum* populations homozygous for specific ALS mutations. *Weed Research*. v. 52, n. 2, p. 178–186, 2012.

YU, Q.; ZHANG, X. Q.; HASHEM, A.; WALSH, M. J.; POWLES, S. B. ALS gene proline (197) mutations confer ALS herbicide resistance in eight separated wild radish (*Raphanus raphanistrum*) populations. *Weed Science*, v. 51, n. 6, p. 831-838, 2003.

ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M. Competição entre espécies de plantas - Uma revisão. *Revista da FZVA*, v. 11, n. 1, p. 10-30, 2004.