

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
CAMPUS ITAQUI  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**RESISTÊNCIA CRUZADA DE JUNQUINHO AOS  
HERBICIDAS INIBIDORES DA ALS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Diego Martins Chiapinotto**

**Itaqui, RS, Brasil  
2017**

**DIEGO MARTINS CHIAPINOTTO**

**RESISTÊNCIA CRUZADA DE JUNQUINHO AOS HERBICIDAS  
INIBIDORES DA ALS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo**.

Orientador: Carlos Eduardo Schaedler

Itaqui, RS, Brasil  
2017

Chiapinotto, Diego Martins.

Resistência cruzada de junquinho aos herbicidas inibidores da ALS/ Diego Martins Chiapinotto. Junho de 2017.

Número de folhas (28); ilustração (4); tamanho (30 cm).

Trabalho de Conclusão do Curso de Agronomia (Universidade Federal do Pampa), Junho de 2017. Orientação: Carlos Eduardo Schaedler.

1. Plantas Daninhas. 2. *Cyperus iria*. 3. Resistência. I. Schaedler, Carlos Eduardo. II. Resistência cruzada de junquinho aos herbicidas inibidores da ALS.

*DIEGO MARTINS CHIAPINOTTO*

**RESISTÊNCIA CRUZADA DE JUNQUINHO AOS HERBICIDAS  
INIBIDORES DA ALS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo**.

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em: 22 de junho de 2017.  
Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Carlos Eduardo Schaedler  
Orientador  
Curso de Agronomia – Unipampa, Itaqui

---

Dra. Fabiane Pinto Lamago  
Pesquisadora – Embrapa Pecuária Sul, Bagé

---

Prof. Dr. Alencar Junior Zanon  
Curso de Agronomia – UFSM, Santa Maria

## AGRADECIMENTOS

Aos meus progenitores, pela dádiva da vida. Especialmente meu pai, por me ensinar a “tirar água de pedra” e pelo incentivo em cursar Agronomia.

À professora Dra. Luciana Zago Ethur, pela acolhida ao Curso e ao Programa de Educação Tutorial (PET Agro – Unipampa Campus Itaqui). Pessoa única, de coração puro.

Ao professor Dr. Carlos E. Schaedler por priorizar a formação de Recursos Humanos, pela acolhida ao Grupo de Herbologia Pampa (GHEPA) e pelos preciosos ensinamentos de buscarmos constantemente nos adaptarmos ao ambiente no qual estamos inseridos.

Ao pesquisador da Embrapa Clima Temperado, senhor Dr. André Andres, por disponibilizar material para o desenvolvimento da pesquisa e importantes contribuições no manuscrito.

À pesquisadora da Embrapa Pecuária Sul, senhora Dra. Fabiane Pinto Lamago, pela sutileza das pontuais co-orientações, incluindo importantes contribuições no estilo da escrita.

Ao professor da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Dr. Alencar Junior Zanon, pelo ímpeto profissional e dedicação para suscitar o espírito acadêmico. Agradeço, também, pela disposição em ter aceitado o convite para participar da Banca Examinadora.

Aos colegas que auxiliaram nesse percurso, especialmente André Limana Tambara pelo auxílio no desenvolvimento da pesquisa. Ao Wagner Luiz Jaskulski pelo auxílio na coleta dos biótipos de *Cyperus iria* e a todos os demais envolvidos. Por fim, no entanto mais importante, à Yasmin S. Victoria pela paciência, persistência e, principalmente, companheirismo nesse percurso.

## EPÍGRAFE

“Nada se sabe, tudo se imagina.  
Circunda-te de rosas, ama, bebe e cala. O  
mais é nada”.

Fernando Pessoa

## RESUMO

### RESISTÊNCIA CRUZADA DE JUNQUINHO AOS HERBICIDAS INIBIDORES DA ALS

Autor: Diego Martins Chiapinotto

Orientador: Carlos Eduardo Schaedler

Itaqui, 23 de junho de 2017.

*Cyperus iria* (CYPIR) é uma das principais espécies daninhas em lavouras de arroz irrigado. O intenso controle químico com herbicidas de diferentes grupos químicos dos inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS), favorece a seleção de resistência cruzada. O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência cruzada de CYPIR aos herbicidas inibidores da ALS, em arroz irrigado, no Rio Grande do Sul. Foram conduzidos dois experimentos, arranjos em esquema fatorial, com delineamento inteiramente casualizado e quatro repetições. O experimento I constou de biótipos resistente (CYPIR-R) e suscetível (CYPIR-S) e doses de herbicidas inibidores da ALS, a saber: imazethapyr (106 g i.a. ha<sup>-1</sup>); pyrazosulfuron-ethyl (20 g i.a. ha<sup>-1</sup>); penoxsulam (36 g i.a. ha<sup>-1</sup>) e como herbicida alternativo bentazone (960 g i.a. ha<sup>-1</sup>), correspondendo a 0; 1/16; 1/8; 1/4; 1/2; 1; 2; 4; 8 e 16x (x = dose máxima registrada). O experimento II seguiu os mesmos procedimentos, com doses de 0; 1/64; 1/32; 1/16; 1/8; 1/4; 1/2; 1; 2x para CYPIR-S e, 0; 1/2; 1; 2; 4; 8; 16; 32; 64 e 128x para CYPIR-R; incluindo bispyribac-sodium (x = 50 g i.a. ha<sup>-1</sup>). As variáveis avaliadas foram: controle visual aos 7, 14, 21 e 28 dias após os tratamentos (DAT) e matéria da parte aérea seca (MPAS) aos 28 DAT. Os resultados, ajustados por regressão não linear, comprovaram níveis variados e elevados de resistência cruzada de CYPIR-R aos herbicidas inibidores da ALS do grupo das imidazolinones, sulfonilureas, triazolopyrimidines e pyrimidinyl(thio)benzoates. O bentazone pode ser utilizado como herbicida alternativo, porém não de modo exclusivo, no controle desse biótipo.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, *Cyperus iria*, curva de dose-resposta, biótipo resistente.

## ABSTRACT

### CROSS-RESISTANCE OF RICE FLATSEEDGE TO ALS-INHIBITING HERBICIDES

Author: Diego Martins Chiapinotto

Advisor: Carlos Eduardo Schaedler

Itaqui, June 23, 2017.

*Cyperus iria* (CYPIR) is one of the main weeds in irrigated rice crops. The intense chemical control with acetolactate synthase (ALS) inhibiting herbicides favors the selection of cross-resistance. This study aimed at evaluating the cross-resistance of CYPIR to ALS-inhibiting herbicides in irrigated rice in Rio Grande do Sul. Two experiments arranged in a factorial scheme, in a completely randomized design, with four replications were conducted. Experiment I consisted of resistant (CYPIR-R) and susceptible (CYPIR-S) biotypes and ALS-inhibiting herbicide doses: imazethapyr ( $106 \text{ g a.i. ha}^{-1}$ ); pyrazosulfuron-ethyl ( $20 \text{ g a.i. ha}^{-1}$ ); penoxsulam ( $36 \text{ g a.i. ha}^{-1}$ ) and, as an alternative herbicide, bentazone ( $960 \text{ g a.i. ha}^{-1}$ ); corresponding to 0; 1/16; 1/8; 1/4; 1/2; 1; 2; 4; 8 and 16x (x = maximum registered dose). Experiment II followed the same procedures, with doses of 0; 1/64; 1/32; 1/16; 1/8; 1/4; 1/2; 1 and 2x for CYPIR-S and 0; 1/2; 1; 2; 4; 8; 16; 32; 64 and 128x for CYPIR-R; including bispyribac-sodium (x =  $50 \text{ g a.i. ha}^{-1}$ ). The variables evaluated were: visual control at 7, 14, 21 and 28 days after the treatments (DAT) and shoot dry matter (SDM) at 28 DAT. The results, fitted by nonlinear regression, show varied and high levels of cross-resistance of CYPIR-R to ALS-inhibiting herbicides from the group of imidazolinones, sulfonyleureas, triazolopyrimidines and pyrimidinyl(thio)benzoates. Bentazone can be used as an alternative herbicide, however, not exclusively in the control of this biotype.

Keywords: *Oryza sativa*, *Cyperus iria*, dose-response curve, resistant biotype.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Valores observados e ajustados de controle (% em relação à testemunha), aos 28 dias após o tratamento, de biótipo de *Cyperus iria* resistente (○ CYPIR-R) e suscetível (● CYPIR-S) aos herbicidas imazethapyr (a), penoxsulam (b) e pyrazosulfuron-ethyl (c). Experimento I.....19

Figura 2: Valores observados e ajustados de matéria da parte aérea seca (% em relação à testemunha), aos 28 dias após o tratamento, de biótipo de *Cyperus iria* resistente (○ CYPIR-R) e suscetível (● CYPIR-S) aos herbicidas imazethapyr (a), penoxsulam (b) e pyrazosulfuron-ethyl (c). Experimento I. ....20

Figura 3: Valores observados e ajustados de controle (% em relação à testemunha), aos 28 dias após o tratamento, de biótipo de *Cyperus iria* resistente (○ CYPIR-R) e suscetível (● CYPIR-S) aos herbicidas imazethapyr (a), penoxsulam (b), pyrazosulfuron-ethyl (c) e bispyribac-sodium (d). Experimento II.....21

Figura 4: Valores observados e ajustados de matéria da parte aérea seca (% em relação à testemunha), aos 28 dias após o tratamento, de biótipo de *Cyperus iria* resistente (○ CYPIR-R) e suscetível (● CYPIR-S) aos herbicidas imazethapyr (a), penoxsulam (b), pyrazosulfuron-ethyl (c) e bispyribac-sodium (d). Experimento II....22

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros estimados  $a$ ,  $b$ ,  $R^2$  e  $C_{50}$  por equação de regressão não linear, com base no controle (% em relação à testemunha) em bioensaio de toda a planta para biótipo resistente e biótipo suscetível de *Cyperus iria*, afetado por herbicidas inibidores da ALS aos 28 dias após o tratamento. Experimento I.....17

Tabela 2: Parâmetros estimados  $a$ ,  $b$ ,  $R^2$  e  $GR_{50}$  por equação de regressão não linear, com base na matéria da parte aérea seca (% em relação à testemunha) em bioensaio de toda a planta para biótipo resistente e biótipo suscetível de *Cyperus iria*, afetado por herbicidas inibidores da ALS aos 28 dias após o tratamento. Experimento I.....18

Tabela 3: Parâmetros estimados  $a$ ,  $b$ ,  $R^2$  e  $C_{50}$  por equação de regressão não linear, com base no controle (% em relação à testemunha) em bioensaio de toda a planta para biótipo resistente e biótipo suscetível de *Cyperus iria*, afetado por herbicidas inibidores da ALS aos 28 dias após o tratamento. Experimento II.....18

Tabela 4: Parâmetros estimados  $a$ ,  $b$ ,  $R^2$  e  $GR_{50}$  por equação de regressão não linear, com base na matéria da parte aérea seca (% em relação à testemunha) em bioensaio de toda a planta para biótipo resistente e biótipo suscetível de *Cyperus iria*, afetado por herbicidas inibidores da ALS aos 28 dias após o tratamento. Experimento II.....18

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Objetivo geral.....	10
1.2 Objetivos específicos.....	10
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1 Material vegetal.....	13
3.2 Curva de dose-resposta aos inibidores da ALS.....	13
3.3 Análise estatística.....	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	23
6 REFERÊNCIAS.....	24

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a aurora da agricultura, as plantas daninhas são ameaça à produção agrícola (Powles e Yu, 2010). No decorrer do último meio século, os herbicidas tornaram-se o método mais eficiente e menos dispendioso no controle dessas espécies (Heap, 2014). No entanto, seu uso contínuo resulta na adaptação de mecanismos que protegem as plantas ao dano herbicida (Busi et al., 2013), limitando ou inviabilizando o controle químico, causando a depreciação de áreas, perda de produtividade e qualidade dos produtos agrícolas (Trezzi et al., 2011).

Em 1957, uma década após adoção e uso generalizado, ocorreu a primeira incidência de resistência a herbicidas (Norsworthy et al., 2012). Desde então, os casos têm aumentado, tornando-se preocupação mundial nas últimas décadas (Galon et al., 2008). Este aumento foi impulsionado, a partir da década de 1980, pelo surgimento, principalmente, dos herbicidas inibidores da ALS (Vencill et al., 2012).

Os inibidores da ALS representam 63% dos casos oficiais de resistência (Heap, 2016). No Sul do Brasil, é uma das classes herbicidas mais utilizadas na cultura do arroz irrigado (Schaedler et al., 2013). No entanto, o uso de um único herbicida, ou grupo de herbicidas com mesmo mecanismo de ação, é o fator mais determinante na evolução de casos de resistência (Norsworthy et al., 2012).

O manejo inadequado de herbicidas inibidores da ALS causou pressão de seleção sobre as espécies daninhas ocorrentes nas lavouras orizícolas. Notoriamente, todos os casos registrados de resistência na cultura do arroz irrigado, exceto *Echinochloa crus-galli*, foram identificados com algum tipo de resistência a estes herbicidas (Heap, 2016). A redução do controle de *Cyperus iria* (CYPIR) em lavouras do Rio Grande do Sul, onde o manejo da espécie foi realizado pela aplicação dos inibidores da ALS, denota o possível desenvolvimento de resistência.

### 1.1 Objetivo geral

Avaliar biótipos de *Cyperus iria* com suspeita de resistência aos herbicidas inibidores da ALS, em lavouras de arroz irrigado no município de Itaqui/ RS.

### 1.2 Objetivos específicos

Identificar oficialmente um novo biótipo de planta daninha resistente; possibilitar alternativas de manejo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A espécie daninha *Cyperus iria* L. (CYPIR), adaptada a ambientes úmidos e inundados, é uma das mais importantes ciperáceas infestantes da cultura do arroz irrigado (Lorenzi, 2008). Apresenta prodigiosa capacidade de multiplicação, devido ao ciclo de vida curto e prolificidade na produção de sementes (3-5 mil sementes planta<sup>-1</sup>). Emerge após a semeadura do arroz, floresce em um mês, podendo estabelecer duas gerações na mesma safra (Galinato et al., 1999); formando populações consideráveis na área onde se estabelece (Moreira e Bragança, 2010).

A ocorrência de CYPIR, durante o período de crescimento do arroz, reduz a produtividade de grãos do cereal em 64% (Dhammu e Sandhu, 2002). O junquinho, como é popularmente conhecido, apresenta mecanismo fotossintético C4 que, em condições tropicais, proporciona-lhe vantagem competitiva sobre a cultura do arroz (C3), como maior potencial de crescimento e uso eficiente de luz, sendo necessárias práticas de manejo integrado para controle da espécie (Chauhan e Johnson, 2010).

O método químico, no entanto, devido à alta eficiência e praticidade, é o mais usado para o controle de ciperáceas, principalmente, com herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS) (Dal Magro et al., 2010), ou acetohidroxi ácido sintase (AHAS). A ALS é uma enzima chave envolvida na biossíntese de aminoácidos ramificados (valina, leucina e isoleucina). A inibição dessa enzima afeta a produção dos aminoácidos, resultando na morte das plantas (Deng et al., 2014).

A enzima ALS é o local de ação de herbicidas de cinco grupos químicos: sulfonilureas (Sus), imidazolinones (IMIs), triazolopyrimidines (TPs), pyrimidinyl-(thio)benzoates (PTBs) e sulfonilamino-carbonyl-triazolinones (SCTs) (Yu e Powles, 2014). Dentre as principais características, destacam-se a baixa toxicidade aos mamíferos, alta eficiência, seletividade e amplo espectro de controle (Shaner, 1999). Além disso, são utilizados em baixas doses (gramas por ha<sup>-1</sup>) (Tranel e Wright, 2002), quando comparados com herbicidas de outros mecanismos de ação.

Os inibidores da ALS foram inicialmente comercializados em 1982 no controle de plantas daninhas em cereais (Saari et al., 1994). No Brasil, o primeiro registro em arroz irrigado foi em 1991 – pyrazosulfuron-ethyl – e, como outros lançados na sequência, passaram a ser usados intensamente (Noldin et al., 2009). Atualmente, estes produtos representam o maior número de ingredientes ativos para o controle de CYPIR nessa cultura, em quatro grupos: SUs, IMIs, TPs e PTBs (Agrofit, 2016).

Plantas daninhas, porém, evoluem em resposta às perturbações provocadas pela natureza e pelo homem (Radosevich et al., 1997). O uso repetido de herbicidas, com mesmo mecanismo de ação, por longo período, resulta na seleção de indivíduos com resistência (Lamego et al., 2009a), que é a capacidade inerente e herdável de um biótipo, de determinada população, de sobreviver e se reproduzir após exposição à dose de registro do herbicida para o controle da espécie, atendendo os critérios de aplicação e condições ambientais (Gazziero et al., 2008).

Atualmente, a nível mundial, há 159 registros de espécies de plantas daninhas com resistência aos herbicidas inibidores da ALS, perfazendo 63% dos casos. Na cultura do arroz irrigado, há 42 espécies envolvidas (Heap, 2016). O uso de diferentes herbicidas, com o mesmo mecanismo de ação favorece a seleção (Vidal e Merotto Jr., 1999) de resistência cruzada, que ocorre quando o traço genético que torna biótipos de determinada espécie de planta daninha resistente a um herbicida, também os torna resistentes a outros herbicidas com mesmo mecanismo de ação, mas de grupos químicos distintos (Deng et al., 2014).

Diversos casos de resistência cruzada aos inibidores da ALS têm sido relatados em ciperáceas ocorrentes em arroz irrigado, como *Cyperus difformis* (Galon et al., 2008), *Fimbristylis miliacea* (Schaedler et al., 2013), *Schoenoplectus juncooides* (Sada et al., 2013) e, mais recentemente, *Cyperus iria* (Riar et al., 2015). É de fundamental importância determinar o espectro de resistência cruzada, pois esta informação pode colaborar com técnicos/ agricultores de forma a selecionarem herbicidas alternativos para manejo eficaz de plantas daninhas (Deng et al., 2014).

Para a comprovação científica, recomenda-se a condução de estudos onde são geradas curvas de dose-resposta do biótipo suspeito de resistência ao herbicida em questão, em ampla faixa de doses, em condições controladas. Desse modo, determina-se o  $C_{50}$  e o  $GR_{50}$ , que indicam a dose herbicida necessária para controlar e/ ou reduzir a matéria da parte aérea seca em 50%, respectivamente, de biótipos resistentes e suscetíveis, em relação à testemunha (Gazziero et al., 2008).

Biótipos de *Cyperus iria* remanescentes ao controle químico com herbicidas inibidores da ALS foram observados em lavouras de arroz irrigado no Sul do Brasil, indicando possível caso de resistência. No entanto, não havia relatos oficiais e estatísticos dessa espécie resistente a herbicida no país (Heap, 2016). O objetivo desta pesquisa foi avaliar a resistência cruzada de CYPIR aos herbicidas inibidores da ALS, em lavouras de arroz irrigado no Rio Grande do Sul.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material vegetal

No ano agrícola 2013/ 2014, foram observados biótipos de *Cyperus iria* (CYPIR) remanescentes ao tratamento com herbicidas inibidores da ALS, em lavoura de arroz irrigado, no município de Itaqui, Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul (28°55'42" S, 56°11'18" W). A propriedade utilizava a tecnologia ClearField® em arroz irrigado, há oito anos consecutivos, e herbicidas do grupo das sulfonilureas, imidazolinones, triazolopyrimidines e pyrimidinyl(thio)benzoates, eram utilizados para o controle dessa ciperácea e outras espécies daninhas ocorrentes na área.

Em março de 2014, coletaram-se 25 plantas (CYPIR do 1 ao 15 de área A e CYPIR 16 ao 25 de área B) com suspeita de resistência (SR). Coletaram-se, ainda, biótipos de CYPIR suscetíveis (S) de área onde nunca foram utilizados tais herbicidas (29°09'43" S, 56°33'06" W), para fins de comparação. As sementes foram armazenadas em local seco e temperatura ambiente até a condução de estudo preliminar, realizado entre 2014/ 2015, em casa-de-vegetação.

O estudo prévio consistiu na aplicação da dose máxima recomendada de: imazapyr + imazapic (73,5 + 24,5 g i.a. ha<sup>-1</sup> – Kifix®) e imazethapyr (106 g i.a. ha<sup>-1</sup> – Imazetapir Plus Nortox), do grupo das imidazolinones; penoxsulam (36 g i.a. ha<sup>-1</sup> – Ricer®), das triazolopyrimidines; pyrazosulfuron-ethyl (20 g i.a. ha<sup>-1</sup>, Sirius 250 SC), das sulfonilureas; e como herbicida alternativo o inibidor do Fotossistema II (PSII), bentazone (960 g i.a. ha<sup>-1</sup> – Basagran® 600), em plantas com estágio de 4 folhas.

A diagnose visual, realizada aos 28 dias após a aplicação (DAT), evidenciou que os biótipos da área B sobreviveram a todos os tratamentos com herbicidas inibidores da ALS e foram totalmente controlados pelo bentazone; enquanto o biótipo suscetível foi controlado de modo eficiente com ambos os mecanismos de ação. Biótipos de CYPIR-SR remanescentes aos tratamentos foram conduzidos até o final do ciclo para obtenção de sementes (utilizadas no experimento da curva de dose-resposta) e foram denominados de resistente (CYPIR-R).

#### 3.2 Curva de dose-resposta aos herbicidas inibidores da ALS

Conduziram-se dois experimentos, entre outubro de 2015 e março de 2016, para avaliar e confirmar níveis de resistência cruzada de CYPIR-R aos herbicidas

inibidores da ALS, em condições controladas, coordenadas 29°09'24,65"S, 56°33'11,97" W. Utilizou-se o biótipo de CYPIR-21 da área B, denominado CYPIR-R.

No dia 23 de outubro de 2015, foram semeadas em duas bandejas de 128 células, contendo PLINTOSSOLO Háplico peneirado (Embrapa, 2013) e esterilizado (autoclave a 100°C durante 1h), sementes de CYPIR-R e CYPIR-S, conduzidas em estufa de túnel baixo, com "floating"- lâmina de água de 10 cm. Aos 10 dias após a emergência (DAE), foram transplantadas para unidades plásticas de 0,3 L (uma por vaso) perfuradas (irrigação por capilaridade), contendo substrato e solo (1:1).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4 x 10, com quatro repetições. O primeiro fator foi composto pelos biótipos de CYPIR-R e CYPIR-S. O segundo fator foi composto pelos herbicidas inibidores da ALS: imazethapyr ( $x = 106 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ ); pyrazosulfuron-ethyl ( $x = 20 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ ); penoxsulam ( $x = 36 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ ) e como herbicida alternativo, bentazone ( $x = 960 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ ), sendo  $x$  a dose máxima recomendada pelo fabricante (Agrofit, 2016). Adicionou-se, respectivamente, aos herbicidas: Dash HC 0,5%; Iharol<sup>®</sup> 0,25%; Veget Oil<sup>®</sup> 1% e Assist<sup>®</sup> 1% (v/v). O terceiro fator consistiu das doses: 0; 1/16; 1/8; 1/4; 1/2; 1; 2; 4; 8 e 16x. O volume de calda, conforme registro no Agrofit (2016), foi de 200 L  $\text{ha}^{-1}$  para o imazethapyr e para os demais tratamentos foi de 100 L  $\text{ha}^{-1}$ .

Quando as plantas atingiram o estágio de até 3-4 folhas, foram aplicados os tratamentos herbicidas, com pulverizador pressurizado a  $\text{CO}_2$  comprimido, munido de bicos (distantes 0,5 m) com jato plano, tipo leque, modelo XR 110.02, com pressão de trabalho de 250 kPa e barra postada a 0,4 m do alvo. A temperatura média durante a aplicação foi de 21,7°C e umidade relativa do ar (URA) de 60%. As plantas aspergidas foram conduzidas para estufa de túnel baixo por dois dias, após esse período foram remanejadas para estufa de túnel baixo com floating.

Foi realizada a avaliação visual de controle das plantas aos 7, 14, 21 (dados não apresentados) e 28 dias após o tratamento (DAT), observando-se o desenvolvimento de clorose, comparada com a testemunha, utilizando-se escala percentual, sendo atribuído 0% quando não houve sintoma do herbicida e 100% quando houve morte total das plantas (Burril et al., 1976). Aos 28 DAT, as plantas remanescentes foram coletadas rente ao solo e colocadas em estufa de ar forçado a 60°C por 72h, para a determinação da matéria da parte aérea seca (MPAS).

Entre janeiro-março de 2016 o experimento foi repetido, seguindo o mesmo procedimento anterior, avaliando-se as variáveis mencionadas. No entanto, as doses



herbicidas foram: 0; 1/64; 1/32; 1/16; 1/8; 1/4; 1/2; 1 e 2x para o biótipo de CYPIR-S; e 0; 1/2; 1; 2; 4; 8; 16; 32; 64 e 128x, para o biótipo de CYPIR-R. Acrescentou-se, ainda, o herbicida bispyribac-sodium ( $x = 50 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ , Nominee 400 SC), do grupo dos pyrimidinyl(thio)benzoates, com Iharol a 0,25% v/v e volume de calda de  $200 \text{ L ha}^{-1}$ . No segundo experimento, a temperatura média foi de  $27,3 \text{ }^\circ\text{C}$  e URA entre 77-85%, entre o início e o final da aplicação dos tratamentos.

### 3.3 Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade e submetidos à análise de variância, ANOVA ( $p \leq 0,05$ ), para determinar interações entre biótipos x herbicidas x doses. Quando detectada diferença significativa, os dados foram analisados utilizando-se modelos não lineares de ajuste de curva de dose-resposta. Assim, as variáveis controle e matéria seca da parte aérea (MPAS) foram ajustadas (equação 1) conforme o modelo proposto por Streibig et al. (1988).

$$Y = \frac{a}{1 + \left(\frac{X}{X_0}\right)^b} \quad (1)$$

onde:  $Y$  corresponde ao controle ou matéria da parte aérea seca (MPAS), em porcentagem (%) em relação à testemunha;  $X$  é a dose herbicida em  $\text{g i.a. ha}^{-1}$ ;  $a$  é a máxima assíntota;  $X_0$  é a dose herbicida necessária que proporciona 50% de resposta da variável controle ( $C_{50}$ ) ou reduz a matéria da parte aérea seca em 50% ( $GR_{50}$ ) de biótipos de CYPIR-R e CYPIR-S;  $b$  é o declive da curva em torno de  $X_0$ . Para ambas as variáveis foram utilizadas o programa Sigma Plot 10,0 para a análise de regressão e de ajuste das curvas de dose-resposta.

Determinou-se, ainda, o fator de resistência (FR), calculado pela divisão do  $C_{50}$  ou  $GR_{50}$  do biótipo resistente pelos correspondentes ao do biótipo suscetível. O FR expressa o número de vezes que a dose herbicida para obter o  $C_{50}$  ou  $GR_{50}$  do biótipo resistente é superior ao  $C_{50}$  ou  $GR_{50}$  do biótipo suscetível (Hall et al., 1998).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados comprovam diferença entre biótipo resistente (CYPIR-R) e biótipo suscetível (CYPIR-S) de *Cyperus iria*, em resposta as doses e aos diferentes herbicidas ( $p \leq 0,05$ ). A curva de dose-resposta constatou que CYPIR-R é insensível à dose de registro dos herbicidas inibidores da ALS, pertencentes ao grupo químico das imidazolinones, sulfonilureas, triazolopyrimidines e pyrimidinyl-(thio)benzoates.

As variáveis avaliadas aos 28 DAT, nos dois experimentos (I-2015 e II-2016), indicaram que a dose herbicida para controlar e/ ou reduzir a matéria seca da parte aérea em 50% do CYPIR-R é superior à máxima recomendada – para o controle da espécie na cultura do arroz irrigado (Tabelas 1, 2, 3 e 4). O modelo de regressão utilizado para ajustar os dados da curva de dose-resposta demonstrou que, em ambos os biótipos, o nível de controle aumenta e a matéria seca reduz devido ao aumento da dose herbicida. No entanto, para o biótipo de CYPIR-R, o nível de controle e redução da matéria seca é menor e gradual, comparado com o biótipo suscetível (Figuras 1, 2, 3 e 4).

No experimento I, para o CYPIR-R o modelo estimou serem necessárias doses de imazethapyr e penoxsulam superiores a 16X, para obter o  $C_{50}$  e o  $GR_{50}$  (Tabela 1 e 2; Figuras 1.a, 1.b, 2.a e 2.b), não sendo possível quantificar com precisão esses valores para calcular o fator de resistência. No experimento II, foi possível determinar o  $C_{50}$  e o  $GR_{50}$  para todos os herbicidas testados (Tabela 3 e 4). O biótipo de CYPIR-S foi controlado até a dose de registro, em ambos os momentos.

Para imazethapyr – IMI–, o controle de 50% do CYPIR-R foi obtido com dose de 505 vezes superior ao do CYPIR-S, ou seja, o  $C_{50}$  foi obtido com 4.980 g i.a.  $ha^{-1}$ , equivalente a 46,99X ( $x = 106$  g i.a.  $ha^{-1}$ ) e 9,86 g i.a.  $ha^{-1}$ , respectivamente (Tabela 3 e Figura 3.a). Referente à redução de 50% da matéria seca, a do CYPIR-R foi obtida com dose de 1.366 vezes superior ao do CYPIR-S, ou seja, com 9.060 g i.a.  $ha^{-1}$  (equivalente a 85,47X) e 6,63 g i.a.  $ha^{-1}$  (Tabela 4 e Figura 4.a.).

A maior atividade herbicida sobre o biótipo suscetível, constatado no experimento II, pode ser consequência da umidade relativa do ar (URA), cerca de 60% no experimento I e variando entre 77-85% no segundo. Pesquisas, como a realizada por Kent (1991) utilizando herbicidas inibidores da ALS com carbono marcado (C-imazethapyr), indicam que a elevada URA aumenta a atividade destes herbicidas. Resultados semelhantes foram observados com o penoxsulam.

O herbicida penoxsulam (TP) indicou, no experimento I, serem necessárias doses superiores a 576 g i.a. ha<sup>-1</sup> (16X) para obter o C<sub>50</sub> e/ ou GR<sub>50</sub> do CYPIR-R (Tabela 1 e 2). No experimento II, entretanto, o C<sub>50</sub> do CYPIR-R foi obtido com 120 g i.a. ha<sup>-1</sup> (3,34X, x = 36 g i.a. ha<sup>-1</sup>) e o GR<sub>50</sub> com 287 g i.a. ha<sup>-1</sup> (7,97X), enquanto os valores correspondentes do CYPIR-S foram estimados em 0,44 e 0,24 g i.a. ha<sup>-1</sup>. Assim, considerando o experimento II, o C<sub>50</sub> do biótipo resistente foi obtido com dose de 273 e o GR<sub>50</sub> com 1.195 vezes superior ao do biótipo suscetível (Tabelas 3 e 4).

Para o herbicida pyrazosulfuron-ethyl (SU), o experimento I indicou valores de 91,6 g i.a. ha<sup>-1</sup> (4,58X, x = 20 g i.a. ha<sup>-1</sup>) e 13,61 g i.a. ha<sup>-1</sup> (0,68x) para obter o C<sub>50</sub> e o GR<sub>50</sub> do CYPIR-R, respectivamente. Os correspondentes estimados para o CYPIR-S foram de 1,03 g i.a. ha<sup>-1</sup> e 1,03 g i.a. ha<sup>-1</sup> (Tabela 1 e 2). No experimento II, entretanto, apresentando comportamento inverso aos herbicidas avaliados, houve incremento na dose necessária para obter tanto o C<sub>50</sub> (118 g i.a. ha<sup>-1</sup>) quanto o GR<sub>50</sub> (67,55 g i.a. ha<sup>-1</sup>) do CYPIR-R. Enquanto os correspondentes do CYPIR-S foram obtidos com 0,25 g i.a. ha<sup>-1</sup> e 0,024 g i.a. ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O FR foi de 475 para controlar e 2.814 vezes superior para reduzir a matéria seca em 50% (Tabela 3 e 4).

Deve-se considerar que padrões de resistência cruzada são extremamente complexos (Deng et al., 2014), o que também foi evidenciado no biótipo de CYPIR-R em resposta ao herbicida bispyribac-sodium (pyrimidinyl(thio)benzoates – PTBs). Valores de C<sub>50</sub> e GR<sub>50</sub> do CYPIR-R foram obtidos com 246,6 g i.a. ha<sup>-1</sup> (4,93X, x = 50 g i.a. ha<sup>-1</sup>) e 243,7 g i.a. ha<sup>-1</sup> (4,87X), respectivamente. Os respectivos correspondentes do CYPIR-S foram obtidos com 0,60 g i.a. ha<sup>-1</sup> e 0,20 g i.a. ha<sup>-1</sup>, resultando em fator de resistência de 410,9 e 1.218 vezes superior (Tabela 3 e 4).

**Tabela 1.** Parâmetros estimados a, b, R<sup>2</sup> e C<sub>50</sub> por equação de regressão não linear<sup>a</sup>, com base no controle (% em relação à testemunha) em bioensaio de toda a planta para biótipo resistente e biótipo suscetível de *Cyperus iria*, afetado por herbicidas inibidores da ALS aos 28 dias após o tratamento. Experimento I

Herbicida	Biótipo	A	b	R <sup>2</sup>	C <sub>50</sub> (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	FR <sup>b</sup>
imazethapyr	CYPIR-R	15,89	80,88	0,94	> 1.696 <sup>c</sup> ± 16,95	> 73,83 <sup>c</sup>
	CYPIR-S	98,66	15,12	0,97	22,97 ± 1,91	
penoxsulam	CYPIR-R	16,71	18,02	0,91	> 576 <sup>c</sup> ± 4,07	> 316,48 <sup>c</sup>
	CYPIR-S	97,44	0,51	0,98	1,82 ± 0,12	
pyrazosulfuron-ethyl	CYPIR-R	63,66	38,09	0,96	91,6 ± 7,79	88,93
	CYPIR-S	98,70	0,20	0,99	1,03 ± 0,08	

<sup>a</sup> Equação Log-logistic:  $Y = a/(1+(X/X_0)^b)$ . ( $p < 0,001$ ).

<sup>b</sup> Fator de resistência = C<sub>50</sub>R/C<sub>50</sub>S

<sup>c</sup> Foram estimados valores superiores às doses herbicidas utilizadas.

**Tabela 2.** Parâmetros estimados a, b, R<sup>2</sup> e GR<sub>50</sub> por equação de regressão não linear<sup>a</sup>, com base na matéria da parte aérea seca (% em relação à testemunha) em bioensaio de toda a planta para biótipo resistente e biótipo suscetível de *Cyperus iria*, afetado por herbicidas inibidores da ALS aos 28 dias após o tratamento. Experimento I

Herbicida	Biótipo	A	b	R <sup>2</sup>	GR <sub>50</sub> (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	FR <sup>b</sup>
imazethapyr	CYPIR-R	99,69	0,17	0,77	> 1.696 <sup>c</sup>	> 220,55 <sup>c</sup>
	CYPIR-S	99,17	0,79	0,97	7,69 ± 1,42	
penoxsulam	CYPIR-R	97,01	0,42	0,66	> 576 <sup>c</sup> ± 486,90	> 386,58 <sup>c</sup>
	CYPIR-S	99,99	2,06	0,99	1,49 ± 0,08	
pyrazosulfuron-ethyl	CYPIR-R	99,80	0,31	0,89	13,61 ± 6,02	13,21
	CYPIR-S	99,98	2,05	0,99	1,03 ± 0,03	

<sup>a</sup> Equação Log-logistic:  $Y = a/(1+(X/X_0)^b)$ . ( $p < 0,001$ ).

<sup>b</sup> Fator de resistência =  $GR_{50}R/GR_{50}S$

<sup>c</sup> Foram estimados valores superiores às doses herbicidas utilizadas.

**Tabela 3.** Parâmetros estimados a, b, R<sup>2</sup> e C<sub>50</sub> por equação de regressão não linear<sup>a</sup>, com base no controle (% em relação à testemunha) em bioensaio de toda a planta para biótipo resistente e biótipo suscetível de *Cyperus iria*, afetado por herbicidas inibidores da ALS aos 28 dias após o tratamento. Experimento II

Herbicida	Biótipo	a	b	R <sup>2</sup>	C <sub>50</sub> (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	FR <sup>b</sup>
bispiribac-sodium	CYPIR-R	100,22	109,12	0,98	246,59 ± 16,01	410,98
	CYPIR-S	99,21	0,07	0,99	0,60 ± 1,27	
imazethapyr	CYPIR-R	87,22	2297,7	0,95	4.980,55 ± 533,91	505,13
	CYPIR-S	96,50	4,00	0,98	9,86	
penoxsulam	CYPIR-R	88,29	32,61	0,95	120,25 ± 9,15	273,29
	CYPIR-S	97,41	0,09	0,99	0,44 ± 0,06	
pyrazosulfuron-ethyl	CYPIR-R	98,37	89,60	0,93	118,84 ± 17,85	475,36
	CYPIR-S	97,03	0,06	0,98	0,25 ± 0,02	

<sup>a</sup> Equação Log-logistic:  $Y = a/(1+(X/X_0)^b)$ . ( $p < 0,001$ ).

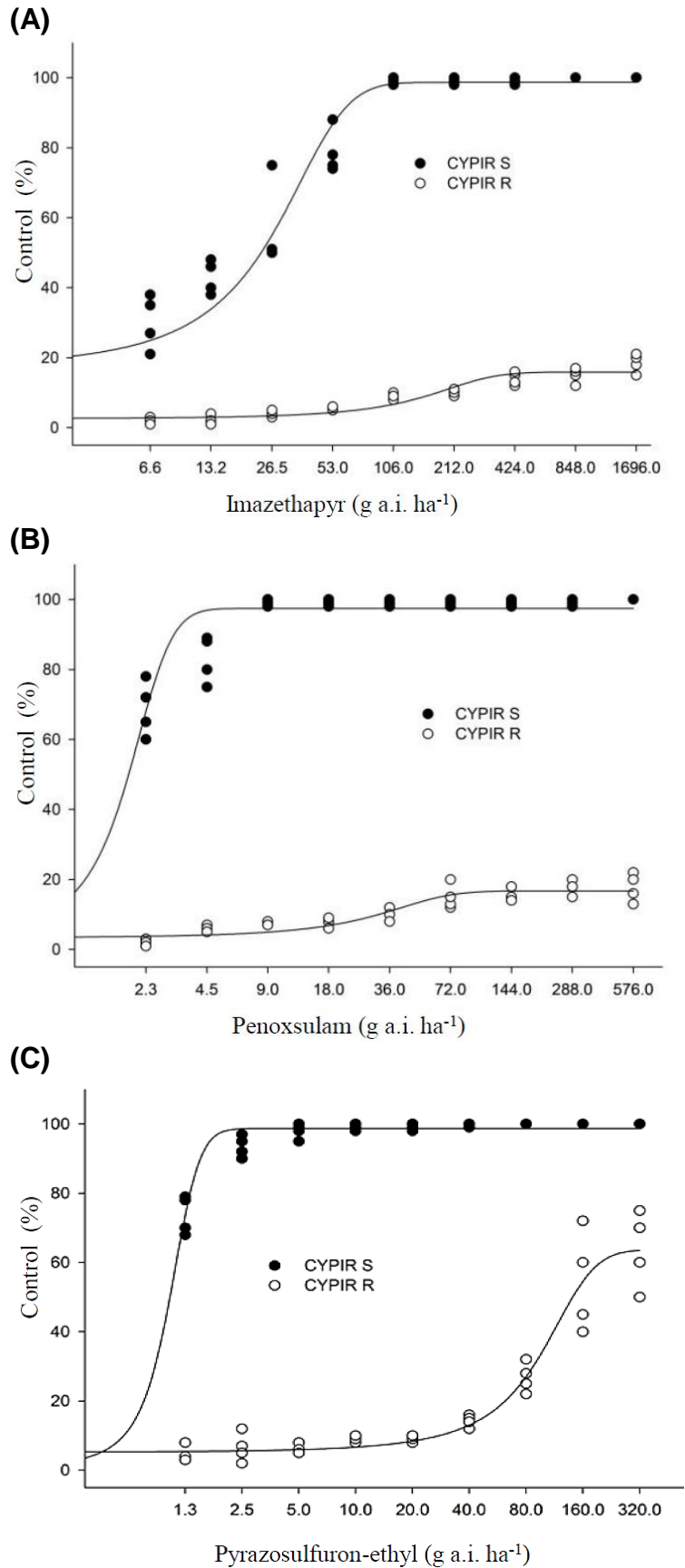
<sup>b</sup> Fator de resistência =  $C_{50}R/C_{50}S$

**Tabela 4.** Parâmetros estimados a, b, R<sup>2</sup> e GR<sub>50</sub> por equação de regressão não linear<sup>a</sup>, com base na matéria da parte aérea seca (% em relação à testemunha) em bioensaio de toda a planta para biótipo resistente e biótipo suscetível de *Cyperus iria*, afetado por herbicidas inibidores da ALS aos 28 dias após o tratamento. Experimento II

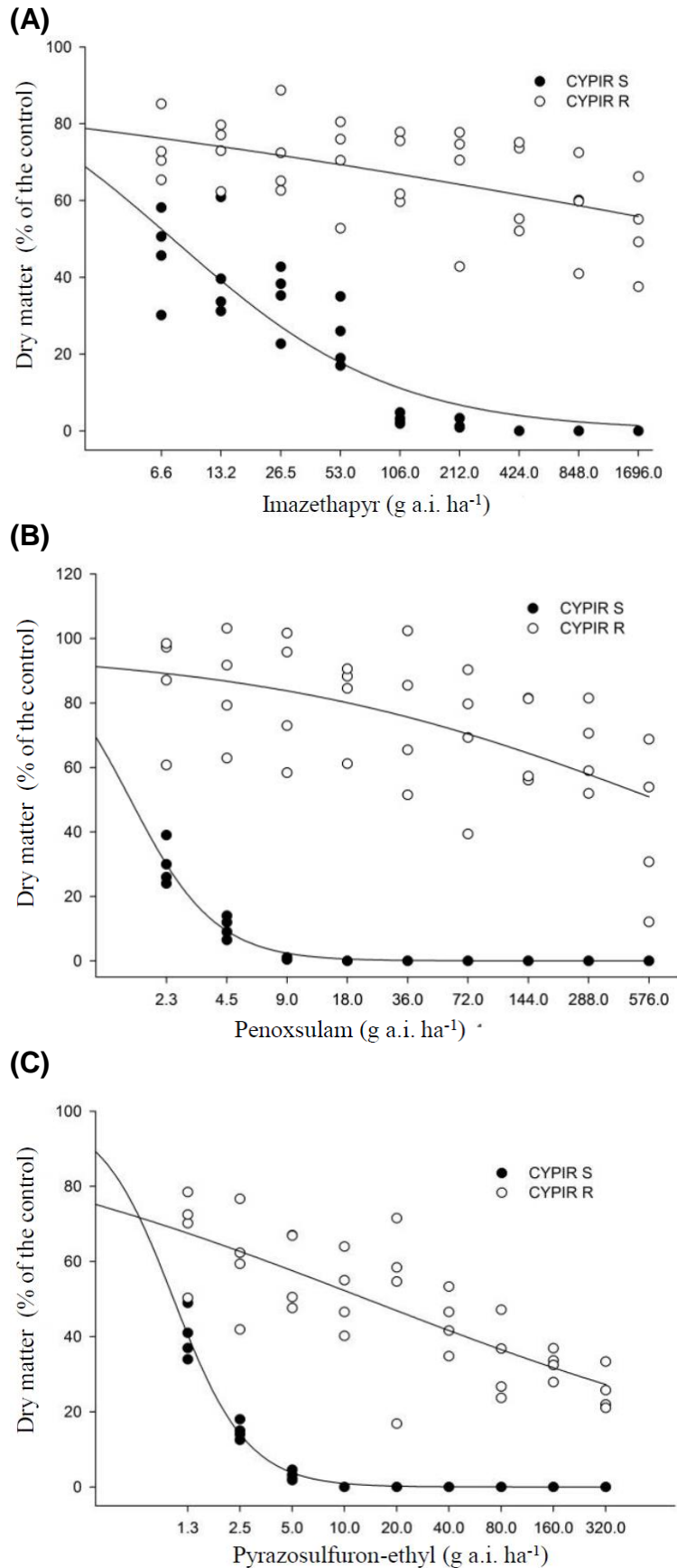
Herbicida	Biótipo	a	b	R <sup>2</sup>	GR <sub>50</sub> (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	FR <sup>b</sup>
bispiribac-sodium	CYPIR-R	99,02	3,34	0,98	243,71 ± 13,63	1.218,55
	CYPIR-S	100,00	1,28	0,99	0,20 ± 0,03	
imazethapyr	CYPIR-R	94,92	4,00	0,83	9060,29 ± 906,82	1.366,56
	CYPIR-S	102,18	1,79	0,99	6,63 ± 0,38	
penoxsulam	CYPIR-R	104,02	1,37	0,96	286,98 ± 33,56	1.195,75
	CYPIR-S	100,01	1,54	0,99	0,24 ± 0,03	
pyrazosulfuron-ethyl	CYPIR-R	98,43	0,92	0,92	67,55 ± 13,71	2.814,58
	CYPIR-S	100,00	1,43	0,99	0,024 ± 0,01	

<sup>a</sup> Equação Log-logistic:  $Y = a/(1+(X/X_0)^b)$ . ( $p < 0,001$ ).

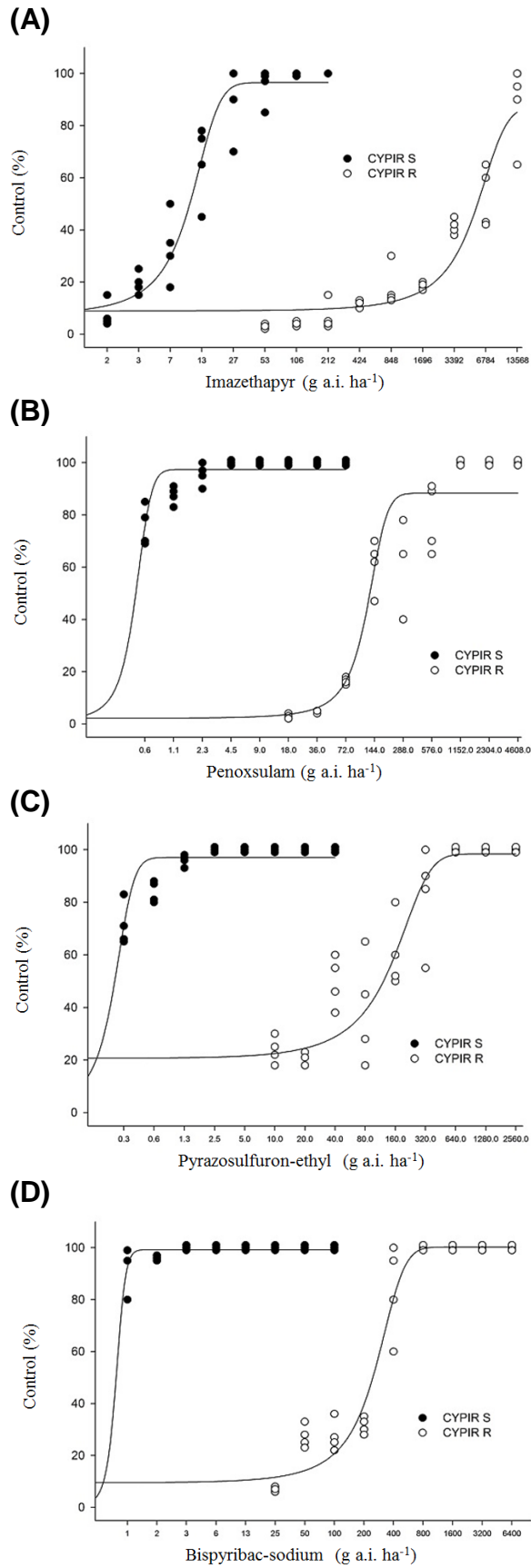
<sup>b</sup> Fator de resistência =  $GR_{50}R/GR_{50}S$



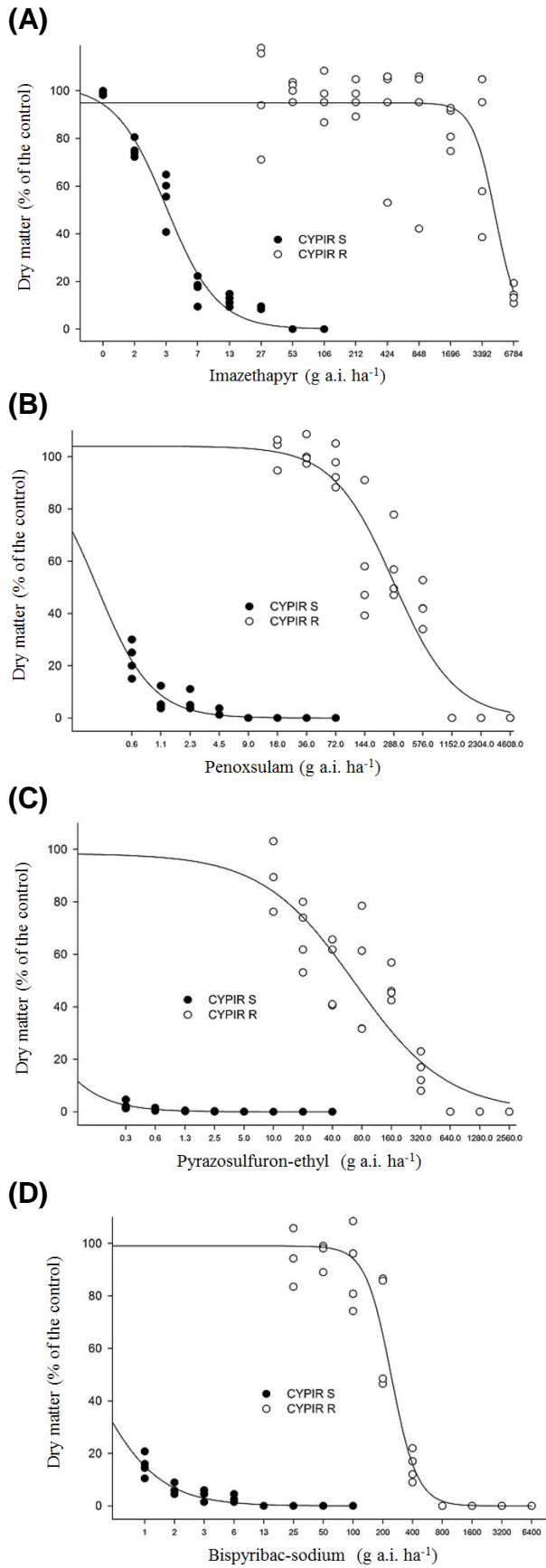
**Figura 1.** Valores observados e ajustados de controle (% em relação à testemunha), aos 28 dias após o tratamento, de biótipo de *Cyperus iria* resistente (○ CYPIR-R) e suscetível (● CYPIR-S) aos herbicidas imazethapyr (a), penoxsulam (b) e pyrazosulfuron-ethyl (c). Experimento I.



**Figura 2.** Valores observados e ajustados de matéria da parte aérea seca (% em relação à testemunha), aos 28 dias após o tratamento, de biótipo de *Cyperus iria* resistente (○ CYPİR-R) e suscetível (● CYPİR-S) aos herbicidas imazethapyr (a), penoxsulam (b) e pyrazosulfuron-ethyl (c). Experimento I.



**Figura 3.** Valores observados e ajustados de controle (% em relação à testemunha), aos 28 dias após o tratamento, de biótipo de *Cyperus iria* resistente (○ CYPIR-R) e suscetível (● CYPIR-S) aos herbicidas imazethapyr (a), penoxsulam (b), pyrazosulfuron-ethyl (c) e bispyribac-sodium (d). Experimento II.



**Figura 4.** Valores observados e ajustados de matéria da parte aérea seca (% em relação à testemunha), aos 28 dias após o tratamento, de biótipo de *Cyperus iria* resistente (○ CYPiR-R) e suscetível (● CYPiR-S) aos herbicidas imazethapyr (a), penoxsulam (b), pyrazosulfuron-ethyl (c) e bispyribac-sodium (d). Experimento II.



O grupo das imidazolinones (IMIs), sulfonylureas (SUs) e triazolopyrimidines (TPs), quimicamente diferentes, são amplamente utilizados nas lavouras orizícolas. O uso em larga escala e a persistência destes herbicidas, levaram à seleção de biótipos resistentes (Powles e Preston, 2016). Entretanto, os herbicidas do grupo das sulfonylureas ligam-se mais perto do local de ação da ALS do que herbicidas dos outros grupos, explicando sua atividade mais elevada (Yu e Powles, 2014), evidenciado no elevado fator de resistência relacionado à redução da MPAS.

Características como o uso contínuo na agricultura, alta eficácia, atividade residual no solo, alta adaptabilidade ecológica do biótipo resistente e mutações pontuais na enzima, podem conferir resistência de uma planta daninha a um ou mais dos herbicidas inibidores da ALS (Tranel e Wright, 2002). De fato, a maioria dos casos registrados de resistência a estes herbicidas são devido a uma alteração da enzima, resultante de uma mutação pontual no gene ALS. Esta mutação causa substituição de aminoácidos, alterando a estrutura da enzima ALS e, conseqüentemente, o seu local de ligação aos herbicidas (Ntoanidou et al., 2016).

Uma mutação pontual, portanto, ou a combinação de duas mutações separadas no local de ação, pode causar resistência a uma ou mais classes de herbicidas inibidores da ALS e padrões diversos de resistência cruzada podem ser observadas (Yu e Powles, 2014). Geralmente, mutações na Asp<sub>376</sub> e Trp<sub>574</sub> do gene da enzima conferem resistência aos quatro grupos químicos testados (Tranel et al., 2016). Para biótipos de CYPIR com elevada resistência cruzada aos herbicidas inibidores da ALS, Riar et al. (2015) identificaram a alteração Trp<sup>-574</sup> no gene da enzima. Em biótipo de *Bidens subalternans*, esta mutação também foi a responsável pelo elevado nível de resistência cruzada aos inibidores da ALS (Lamego et al., 2009b). Brosnan et al. (2015) observaram que a substituição do aminoácido alanina (Ala<sup>-205</sup>-Fen) também confere amplo espectro de resistência aos inibidores da ALS.

Bentazone, ingrediente ativo do grupo das benzothiadiazinones, inibidor do Fotossistema II (PSII) (HRAC, 2010), controlou 100% biótipos de CYPIR-R e CYPIR-S até a dose recomendada (dados não apresentados). Para a ocorrência de biótipos de CYPIR com resistência cruzada aos herbicidas inibidores da ALS, Riar et al. (2015) utilizaram 2,4-D (Auxina Sintética), bentazone e propanil (PSII) no controle químico alternativo. O índice de controle foi considerado eficiente, ou seja, superior a 93%. No Brasil, *C. difformis* resistente ao pyrazosulfuron-ethyl foi 100% controlado com carfentrazone-ethyl, bentazone e propanil (Agostinetto et al., 2011).

É importante ressaltar que o uso, exclusivo, de um único herbicida alternativo pode causar nova pressão de seleção. Quando constatada a resistência a um grupo de herbicidas, não basta substituir esse grupo de produtos por outros alternativos. Isso apenas tende a selecionar biótipos com resistência múltipla (Vidal e Trezzi, 2006). Portanto, convém fazer uma ressalva quanto ao controle de CYPIR-R unicamente com o herbicida bentazone – requerendo produtos diferenciados e adoção de práticas de manejo integrado, como a rotação de culturas.

A adoção do manejo integrado como a rotação de culturas (soja, milho ou sorgo), por exemplo, permite a troca de mecanismos de ação herbicida e traz uma série de aspectos positivos para a lavoura. O cenário da lavoura utilizada no estudo, com relato de oito anos de adoção exclusiva de uma tecnologia para controle de plantas daninhas, deixa evidente a insustentabilidade dessa estratégia de manejo. O planejamento prévio é fundamental, observando a relação custo/ benefício, a troca de mecanismos de ação herbicida e a adoção de estratégias não dependentes do controle químico, visando atrasar a evolução de novos casos de resistência.

Este é o primeiro relato oficial e estatístico de resistência cruzada de *C. iria* aos herbicidas inibidores da ALS no Brasil (Heap, 2016). Deste modo, sugere-se o uso criterioso de herbicidas com outros mecanismos de ação para reduzir a pressão de seleção e a evolução da resistência em mais biótipos de *C. iria*. O elevado fator de resistência constatado no biótipo resistente, > 10 (Tranel et al., 2016), comparado com o CYPIR-S, inviabiliza seu controle pelos herbicidas testados, podendo indicar alteração na enzima ALS, resultante de mutações (Devine e Shukla, 2000).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comprovaram-se níveis variados de resistência cruzada do biótipo de CYPIR-R aos herbicidas inibidores da ALS, pertencentes ao grupo químico das imidazolinones; sulfonilureas; triazolopyrimidines e pyrimidinyl(thio)benzoates. Resultados similares são plausíveis com outros herbicidas que apresentam o mesmo mecanismo de ação. Biótipos resistentes apresentam, frequentemente, resistência cruzada aos herbicidas pertencentes ao mesmo mecanismo, podendo apresentar padrões diversos a outros grupos ALS (Manley et al., 1999). Pesquisas com controle químico alternativo, detecção do mecanismo da resistência envolvido e análise do valor adaptativo dos biótipos estão sendo desenvolvidos.

## 6 REFERÊNCIAS

- Agostinetto D. et al. Resistência de *Cyperus difformis* L. ao herbicida pyrazosulfuron-ethyl e alternativas de controle. **Semina: Ciências Agrárias**. 2011; 32: 839-48.
- Agrofit – **Sistema de consulta a agrotóxicos registrados no Brasil**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Defesa Sanitária Vegetal. Disponível em: <www.agricultura.gov.br/agrofit>. Acesso: 11 jan. 2016.
- Brosnan J.T. et al. A new amino acid substitution (Ala-205-Phe) in acetolactato synthase (ALS) confers broad spectrum resistance to ALS-inhibiting herbicides. **Planta**. 2016; 243: 149-59.
- Burrill L.C., Cardenas J.C., Locatelli E. **Field manual for weed control research**. Corvallis: International Plant Protection Center, 1976. 59p.
- Busi R. et al. Herbicide-resistant weeds: from research and knowledge to future needs. **Evolutionary Applications**. 2013; 6: 1218–21.
- Chauhan B.S., Johnson D.E. Responses of rice flatsedge (*Cyperus iria*) and barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) to rice interference. **Weed Science**. 2010; 58: 204-08.
- Christoffoleti P.J. Curvas de dose-resposta de biótipos resistente e suscetível de *Bidens pilosa* L. aos herbicidas inibidores da ALS. **Scientia Agricola**. 2002; 59: 513-19.
- Devine M.D., Shukla A. Altered target sites as a mechanism of herbicide resistance. **Crop Protection**. 2000; 19: 881-89.
- Dhammu H.S., Sandhu, K.S. Critical period of *Cyperus iria* L. competition in transplanted rice. **13<sup>th</sup> Australian Weeds Conference: Weeds “Threats now and forever?”** Perth, 2002. p.79-82.
- Dal Magro T. et al. Propriedades enzimáticas da enzima ALS de *Cyperus difformis* e mecanismo de resistência da espécie ao herbicida pyrazosulfuron-ethyl. **Ciência Rural**. 2010; 40: 2439-445.
- Deng W. et al. Different cross-resistance patterns to AHAS herbicides of two tribenuron-methyl resistant flixweed (*Descurainia sophia* L.) biotypes in China. **Pesticide Biochemistry and Physiology**. 2014; 112: 26-32.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- Galinato M.I., Moody K., Piggin, C.M. **Upland rice weeds of South and Southeast Asia**. Makati City: IRRI, 1999. 156p.

- Galon L. et al. Resistência de *Cyperus difformis* a herbicidas inibidores da ALS em lavoura de arroz irrigado em Santa Catarina. **Planta daninha**. 2008; 26: 419-27.
- Gazziero D.L.P., Galli A.J.B., Karam D. editores. **Critérios para relatos oficiais estatístico de biótipos de plantas daninhas resistente a herbicidas**. Campinas: Associação Brasileira de Ação à Resistência de Plantas Daninhas aos Herbicidas no Brasil, 2008. 22p.
- Hall L.M. et al. Resistance to acetolactate sintase inhibithors and quinclorac in a biotypes of false clover (*Gallium sourium*). **Weed Science**. 1998; 46: 390-[96].
- Heap I. Herbicide resistant weeds. In: Pimentel D., Peshin, R. (eds.) **Integrated pest management: pesticide problems**, Vol 3. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014. p.281-301.
- Heap I. **The International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. Disponível em: <[www.weedscience.org](http://www.weedscience.org)>. Acesso: 16 de Fev. 2016.
- Herbicide Resistance Action Committee – HRAC. **World of herbicides map (2010)**. Disponível em: <[www.hracglobal.com/pages/world%20of%20herbicides%20map.aspx](http://www.hracglobal.com/pages/world%20of%20herbicides%20map.aspx)>. Acesso: 16 de Fev. 2016.
- Kent L.M. et al. Influence of ammonium-sulfate, imazapyr, temperature, and relative humidity on the absorption and translocation of imazethapyr. **Weed Science**. 1991; 39: 412-16.
- Lamego F.P. et al. Cross-resistance of *Bidens subalternans* to acetolactate synthase inhibitors in Brazil. **Weed Research**. 2009a; 49: 634-41.
- Lamego F.P. et al. Molecular basis of resistance to ALS-inhibitor herbicides in greater beggarticks. **Weed Science**. 2009b; 57: 474-81.
- Lorenzi H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 4. ed. Nova Odessa: Plantarum, 2008. 640p.
- Manley B.S. et al. Imidazolinone resistance in smooth pigweed (*Amaranthus hybridus*) is due to an altered acetolactate synthase. **Weed Technology**. 1999; 13: 697-705.
- Moreira H.J. da C., Bragança H.B.N. **Manual de identificação de plantas infestantes: arroz**. Campinas: FMC, 2010. 854p.
- Noldin J.A. Resistência de *Fimbristylis miliacea* a herbicidas inibidores da ALS. In: Agostinetto D., Vargas L. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Passo Fundo: Berthier, 2009. p.215-20.

- Norsworthy J.K. et al. Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendation. **Weed Science**. 2012; 60: 31-62.
- Ntoanidou S. et al. Molecular basis of *Cyperus difformis* cross-resistance to ALS-inhibiting herbicides. **Pesticide Biochemistry and Physiology**. 2016; 127: 38-45.
- Powles S.B., Yu Q. Evolution in actions: plants resistant to herbicides. **Plant Biology**. 2010; 61: 317-47.
- Powles S.B., Preston C. **Herbicide cross resistance and multiple resistance in plants**. Disponível em: <[www.hracglobal.com/pages/herbicidecrossresistanceandmultipleresistance.aspx](http://www.hracglobal.com/pages/herbicidecrossresistanceandmultipleresistance.aspx)>. Acesso em: 15 de Fev. 2016.
- Radosevich S.R., Holt J., Ghersa C. **Weed ecology**: implications for management. 2. ed. Wiley, 1997. 589p.
- Riar D.S. et al. Acetolactate synthase-inhibiting, herbicide-resistant rice flatsedge (*Cyperus iria*): cross-resistance and molecular mechanism of resistance. **Weed Science**. 2015; 63: 748-57.
- Saari L.L., Cotterman J.C., Thill D.C. Resistance do acetolactate synthase inhibiting herbicides. In: Powles S.B., Holtum J.A.M. (eds.). **Herbicide resistance in plants: biology and biochemistry**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p.83-139.
- Sada Y. et al. Characterization of sulfonylurea-resistant *Schoenoplectus juncooides* having a target-site Asp<sub>376</sub>Glu mutation in the acetolactate synthase. **Pesticide Biochemistry and Physiology**. 2013; 107: 106-11.
- Schaedler C.E. et al. Globe fringerush (*Fimbristylis miliacea*) cross resistance to als-inhibitor herbicides under field conditions in irrigated rice in the south of Brazil. **Planta Daninha**. 2013; 31: 893-902.
- Shaner D.L. Resistance to acetolactate syntase (ALS) inhibitors in the United States: history, occurrence, detection, and management. **Journal of Weed Science and Technology**. 1999; 44: 405-11.
- Streibig J. C. Herbicide bioassay. **Weed Research**. 1998; 28: 479-84.
- Tranel P., Wright T.R. Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: what have we learned? **Weed Science**. 2002; 50: 700-12.
- Tranel P.J. et al. **Mutations in herbicide-resistant weeds to ALS inhibitors**. Disponível em:<[www.weedscience.com](http://www.weedscience.com)>. Acesso em 21 Fev. 2016.

- Trezzi M.M. et al. Quick test of foliar immersion of *Euphorbia heterophylla* to confirm resistance to PPO and ALS-inhibiting herbicides. **Planta Daninha**. 2011; 29: 901-12.
- Vidal R.A., Merotto Jr. A. Resistência de amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla* L.) aos herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase. **Planta Daninha**. 1999; 17: 367-74.
- Vidal R.A., Trezzi F.P. Cresce a resistência das plantas daninhas a herbicidas. **Visão Agrícola**. 2006; 5: 112-14.
- Vencill W.K. et al. Herbicide resistance: toward an understanding of resistance development and the Impact of herbicide-resistant crops. **Weed Science**. 2012; 60: 2-30.
- Yu Q., Powles S.B. Resistance to AHAS inhibitor herbicides: current understanding. **Pest Management Science**. 2014; 70: 1340-350.