

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL – PPGPV

GABRIELLA CAMILA GALIKOVSKI

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE SAGITÁRIA (*Sagittaria montevidensis*) AO
HERBICIDA FLORPYRAUXIFEN-BENZYL E ALTERNATIVAS PARA O
CONTROLE**

LAGES – SC

2024

GABRIELLA CAMILA GALIKOVSKI

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE SAGITÁRIA (*Sagittaria montevidensis*) AO
HERBICIDA FLORPYRAUXIFEN-BENZYL E ALTERNATIVAS PARA O
CONTROLE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Mendes de Oliveira Neto.

LAGES – SC

2024

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Galikovski, Gabriella Camila

Avaliação da resistência de sagitária (*Sagittaria montevidensis*)
ao herbicida florpyrauxifen-benzyl e alternativas para o controle /
Gabriella Camila Galikovski. -- 2024.

52 p.

Orientador: Antonio Mendes de Oliveira Neto

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2024.

1. Arroz irrigado. 2. Herbicida hormonal. 3. Auxinas sintéticas.
4. Controle químico. I. Mendes de Oliveira Neto, Antonio . II.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção
Vegetal. III. Título.

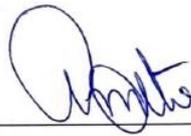
GABRIELLA CAMILA GALIKOVSKI

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE SAGITÁRIA (*Sagittaria montevidensis*) AO
HERBICIDA FLORPYRAUXIFEN-BENZYL E ALTERNATIVAS PARA O
CONTROLE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Mendes de Oliveira Neto.

BANCA EXAMINADORA



Dr. Antonio Mendes de Oliveira Neto

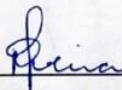
UDESC/CAV

gov.br

Documento assinado digitalmente
SIUMAR PEDRO TIRONI
Data: 31/07/2024 21:22:12-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr. Siumar Pedro Tironi

UFFS/Campus Chapecó



Dra. Nádia Cristina de Oliveira

CAV/UDESC

LAGES, SC, 2024

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar meus passos e guardar minhas escolhas.

Ao meu namorado Vinícios Vinciguera, por todo amor, dedicação e por estar comigo neste desafio e em tantos outros, seu apoio foi fundamental durante a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Michele Dalabona Galikovski e Luiz Rogério Galikovski, que com muito amor, cuidado e proteção dedicam seus dias a minha vida e a da minha irmã, agradeço por formarem raízes fortes que sustentam nossa família.

À minha irmã, Isabela Galikovski, por estar comigo em todos os momentos, por todo amor e companheirismo.

À minha família, por todo amor e afeto envolvido em nossas relações.

Ao professor Dr. Antonio Mendes de Oliveira Neto, pela orientação, oportunidade e ensinamentos durante esta etapa.

Ao Laboratório de Plantas Daninhas e Herbicidas – LAB. PD&H, pela colaboração nos trabalhos desenvolvidos.

Ao Filipe Crepaldi Cardoso e ao Andrey Rocha, em nome da empresa Rocha Empreendimentos Agronômicos, pela localização e coleta dos biótipos utilizados neste trabalho.

À Cristiane Mara Fiedler, em nome da empresa Corteva, pelo apoio na realização dos trabalhos.

Ao CAV/UDESC, pela estrutura e ensino de qualidade. Ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, pela excelência e profissionalismo ao transmitir o conhecimento.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Santa Catarina (FAPESC) e a UDESC/PROMOP, pela disponibilização da bolsa de estudo para o desenvolvimento deste projeto de pesquisa.

A todas as pessoas que não foram citadas, mas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“Sê todo em cada coisa. Põe o quanto és no mínimo que fazes.

Assim em cada lago a lua toda brilha, porque alta vive.”

Fernando Pessoa

RESUMO

A *Sagittaria montevidensis* Cham. & Schltl é uma planta daninha aquática que infesta lavouras de arroz irrigado, principalmente no sistema pré-germinado. O floryrauxifen-benzyl é um herbicida do grupo das auxinas sintéticas, para aplicação em pós-emergência das plantas daninhas em arroz irrigado, apresentando eficiência no controle de mono e eudicotiledôneas. Este herbicida teve a comercialização liberada no Brasil em junho de 2019, entretanto, com a frequência de uso relatos de falhas de controle de *S. montevidensis* se intensificaram nas últimas safras. A vista disso, o presente trabalho teve o objetivo de: i) comprovar a resistência de *S. montevidensis* ao herbicida floryrauxifen-benzyl, ii) avaliar a sensibilidade dos biótipos a herbicidas mimetizadores de auxinas de outros grupos químicos, iii) avaliar a eficiência dos herbicidas imazethapyr + imazapic, bentazon, saflufenacil, carfentrazone e 2,4-D como alternativas no controle de *S. montevidensis*, iv) realizar a análise da atividade fotossintética do biótipo sensível e resistente ao floryrauxifen-benzyl. Para isso, a pesquisa dividiu-se em quatro experimentos, conduzidos em casa de vegetação na área experimental do CAV/UDESC, onde utilizou-se dois biótipos de *S. montevidensis*, resistente (R) proveniente de Viamão – RS e sensível (S) oriundo de Turvo – SC. Os experimentos foram organizados em esquema fatorial e o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os estudos para a comprovação da resistência foram feitos em duas gerações dos biótipos R e S, utilizando oito doses do herbicida floryrauxifen-benzyl. Já o experimento de sensibilidade dos biótipos a outros herbicidas auxínicos foi conduzido com a segunda geração (F2) de plantas R e S, utilizando doses crescentes dos herbicidas 2,4-D, dicamba e triclopyr. O experimento de controle alternativo foi conduzido com a geração F2 dos biótipos e testou-se os herbicidas imazethapyr + imazapic, bentazon, saflufenacil, carfentrazone e 2,4-D. Para os três experimentos avaliou-se a porcentagem de controle aos 7, 14 e 28 dias após aplicação (DAA) e massa seca aos 28 DAA. Para as variáveis fisiológicas dos biótipos R e S, realizou-se a aplicação ou não do herbicida floryrauxifen-benzyl, as avaliações foram feitas utilizando os equipamentos IRGA LI-6400XT e MINI PAM II. A resistência de *S. montevidensis* ao floryrauxifen-benzyl foi confirmada, obtendo fator de resistência (FR) >700 nas duas gerações avaliadas. Já os três herbicidas auxínicos avaliados obtiveram FR <1, dessa maneira, descartando a resistência cruzada para auxinas sintéticas. No experimento de controle alternativo observou-se que os melhores tratamentos foram com os herbicidas saflufenacil, bentazon

e carfentrazone, alcançando aos 28 DAA controle superior a 86%, sendo estas alternativas eficientes para o controle de *S. montevidensis*. A aplicação do herbicida floryrauxifen-benzyl em plantas sensíveis acarreta uma regulação negativa da fotossíntese, além de desencadear aumento das variáveis relacionadas a fluorescência da clorofila *a* e redução no rendimento quântico máximo do fotossistema II, por outro lado, o biótipo R de *S. montevidensis* tratado com o herbicida floryrauxifen-benzyl teve o comportamento semelhante ao da testemunha sem aplicação. O biótipo de *S. montevidensis* de Viamão – RS é resistente ao herbicida floryrauxifen-benzyl, mas se mantém suscetível a outras auxinas sintéticas, bentazon saflufenacil e carfentrazone.

Palavras-chave: arroz irrigado; auxinas sintéticas; controle químico; planta daninha.

**EVALUATION OF GIANT ARROWHEAD (*Sagittaria montevidensis*)
RESISTANCE TO THE HERBICIDE FLORPYRAUXIFEN-BENZYL AND
CONTROL ALTERNATIVES**

Sagittaria montevidensis Cham. & Schltl is an aquatic weed that infests flooded rice fields, particularly in pre-germinated systems. Florpyrauxifen-benzyl is a synthetic auxin herbicide, used post-emergence to control both mono- and dicotyledonous weeds in flooded rice, demonstrating efficacy. This herbicide was approved for commercial use in Brazil in June 2019; however, reports of control failures against *S. montevidensis* have increased in recent harvests due to its frequent use. Therefore, this study aimed to: i) confirm *S. montevidensis* resistance to florpyrauxifen-benzyl, ii) evaluate the biotypes' sensitivity to other auxin mimicking herbicides from different chemical groups, iii) assess the efficacy of imazethapyr + imazapic, bentazon, saflufenacil, carfentrazone, and 2,4-D herbicides as alternatives for *S. montevidensis* control, and ix) analyze the photosynthetic activity of both sensitive and resistant biotypes to florpyrauxifen-benzyl. The research was conducted in four greenhouse experiments at the experimental area of CAV/UEDESC. Two biotypes of *S. montevidensis* were used: resistant (R) from Viamão – RS and sensitive (S) from Turvo – SC. The experiments were arranged in factorial schemes with a completely randomized design and four replications. Resistance confirmation studies were conducted over two generations of R and S biotypes, using eight doses of florpyrauxifen-benzyl. Sensitivity tests to other auxin herbicides were performed on the second generation (F2) of R and S plants, using increasing doses of 2,4-D, dicamba, and triclopyr. Alternative control experiments were conducted on the F2 generation of biotypes, testing imazethapyr + imazapic, bentazon, saflufenacil, carfentrazone, and 2,4-D herbicides. In all three experiments, control percentages were evaluated at 7, 14, and 28 days after application (DAA), along with dry mass at 28 DAA. For the photosynthetic activity of R and S biotypes, evaluations were performed with or without florpyrauxifen-benzyl using IRGA LI-6400XT and MINI PAM II equipment. Resistance of *S. montevidensis* to florpyrauxifen-benzyl was confirmed, with resistance factors (RF) >700 in both evaluated generations. The three auxin herbicides tested showed RF <1, ruling out cross-resistance to synthetic auxins. In the alternative control experiment, the best treatments were observed with saflufenacil, bentazon, and carfentrazone herbicides, achieving over 86% control at 28 DAA, demonstrating these as effective alternatives for *S. montevidensis* control. Application of florpyrauxifen-benzyl on sensitive plants

resulted in negative regulation of photosynthesis, increased variables related to chlorophyll *a* fluorescence and reduced maximum quantum yield of photosystem II. Conversely, the R biotype treated with florypyrauxifen-benzyl exhibited behavior like the untreated control. The Viamão – RS biotype of *S. montevidensis* is resistant to florypyrauxifen-benzyl but remains susceptible to other synthetic auxins, bentazon, saflufenacil, and carfentrazone.

Keywords: irrigated rice; synthetic auxins; chemical control; weed.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Curvas de dose resposta ao florpyrauxifen-benzyl para as gerações F1 (a) e F2 (b) das populações resistente (R) e suscetível (S) de <i>S. montevidensis</i> e massa seca da parte aérea (MSPA) para a geração F2 das populações R e S de <i>S. montevidensis</i> (c). .	33
Figura 2 – Ensaio de dose resposta ao florpyrauxifen-benzyl utilizando a geração F2 de <i>S. montevidensis</i> resistente (R) e suscetível (S).....	34
Figura 3 – Massa seca da parte aérea aos 28 dias após a aplicação (DAA) para os biótipos R e S de <i>S. montevidensis</i> ao utilizar os herbicidas imazethapyr+imazapic, saflufenacil, bentazon, carfentrazone e 2,4-D.	40
Figura 4 – Fotossíntese as 24, 48 e 72 horas após a aplicação (HAA) de florpyrauxifen-benzyl para os biótipos R e S de <i>S. montevidensis</i>	41
Figura 5 – Rendimento quântico máximo do fotossistema II as 6, 12, 24, 48 e 72 HAA de florpyrauxifen-benzyl para os biótipos R e S de <i>S. montevidensis</i>	42
Figura 6 – Fluorescência mínima as 6, 12, 24, 48 e 72 HAA de florpyrauxifen-benzyl para os biótipos R e S de <i>S. montevidensis</i>	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros obtidos no teste de dose resposta e fatores de resistência em duas gerações da população de <i>S. montevidensis</i> resistente (R) e suscetível (S) ao florpyrauxifen-benzyl.	34
Tabela 2 – Parâmetros obtidos no teste de dose resposta aos 28 DAA e fatores de resistência para os herbicidas dicamba, 2,4-D e triclopyr em população de <i>S. montevidensis</i> resistente e suscetível ao florpyrauxifen-benzyl.	37
Tabela 3 – Parâmetros obtidos na avaliação de eficiência de controle dos herbicidas imazethapyr+imazapic, saflufenacil, bentazon, carfentrazone e 2,4-D para os biótipos resistente (R) e suscetível (S) de <i>S. montevidensis</i>	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ACCcase	Acetil-CoA carboxilase
ALS	Acetolactato sintase
cm	Centímetro
DAA	Dias após a aplicação
DL ₅₀	Dose Letal 50
EPSPS	5-enolpiruvilxiquimato-3-fosfato sintase
FSII	Fotossistema II
F _o	Fluorescência mínima
g	Gramma
HAA	Horas após a aplicação
ha	Hectare
h	Horas
i.a.	Ingrediente ativo
IAA	Ácido indol-3-acético
kPa	Kilopascal
Kg	Kilograma
L	Litro
m	Metro
MS	Massa seca
°C	Graus Celsius
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 A CULTURA DO ARROZ IRRIGADO	18
2.2 SAGITÁRIA (<i>Sagittaria montevidensis</i>).....	19
2.3 HERBICIDAS	20
2.3.1 Mimetizadores de auxina.....	21
2.3.1.1 <i>Florpyrauxifen-Benzyl</i>	22
2.4 RESISTÊNCIA DE PLANTAS A HERBICIDAS.....	23
2.5 RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS A HERBICIDAS MIMETIZADORES DE AUXINAS	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 COLETA DO MATERIAL VEGETAL E REPRODUÇÃO DOS BIÓTIPOS	26
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	26
3.3 DOSE RESPOSTA DE FLORPYRAUXIFEN-BENZYL.....	27
3.4 DOSE RESPOSTA A AUXINAS SINTÉTICAS DE OUTROS GRUPOS QUÍMICOS.....	27
3.5 CONTROLE ALTERNATIVO PARA O BIÓTIPO RESISTENTE E SENSÍVEL AO FLORPYRAUXIFEN-BENZYL	28
3.6 ATIVIDADE FOTOSSINTÉTICA DOS BIÓTIPOS RESISTENTE E SENSÍVEL AO FLORPYRAUXIFEN-BENZYL	29
3.7 ANÁLISE DE DADOS	29
3.8 CRITÉRIOS PARA CONFIRMAÇÃO DE RESISTÊNCIA	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 DOSE RESPOSTA DE FLORPYRAUXIFEN-BENZYL.....	32
4.2 DOSE RESPOSTA A AUXINAS SINTÉTICAS DE OUTROS GRUPOS QUÍMICOS.....	36

4.3. ALTERNATIVAS PARA O CONTROLE QUÍMICO DE SAGITÁRIA RESISTENTE AO FLORPYRAUXIFEN-BENZYL.....	38
4.4 ATIVIDADE FOTOSSINTÉTICA DOS BIÓTIPOS RESISTENTE E SENSÍVEL AO FLORPYRAUXIFEN-BENZYL	40
5 CONCLUSÃO.....	45
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1 INTRODUÇÃO

Considera-se o arroz (*Oryza sativa* L.) o produto de maior importância econômica em diversos países em desenvolvimento, cultivado e consumido em diversos continentes, sendo esta, uma cultura com grande capacidade de se adaptar a diferentes condições de solo e clima (SANTOS, 2021). Dois são os métodos de cultivo de arroz adotados no Brasil, o produzido em terras altas e o de áreas de várzea, ou arroz irrigado. Sendo que, para o arroz irrigado destaca-se o sistema pré-germinado, principalmente na região Sul do Brasil com ênfase no estado de Santa Catarina, e caracteriza-se pela implantação da cultura em solo previamente inundado com lâmina de água (GUTZ et al., 2019), esta técnica traz algumas vantagens, destacando-se o controle de plantas daninhas não adaptadas a ambientes aquáticos e conseqüentemente a menor utilização de herbicidas (RAMOS, 2017). Apesar disto, há algumas plantas daninhas adaptadas ao ambiente inundado competindo com a cultura e trazendo problemas para as áreas de cultivo.

A *Sagittaria montevidensis* Cham. & Schltdl é uma planta daninha problemática para a cultura do arroz, infestando principalmente áreas de cultivo de arroz no sistema pré-germinado, estando presente em altas infestações na maioria das áreas de cultivo (MEROTTO Jr. et al., 2010). Se trata de uma planta aquática enraizada, anual ou perene, herbácea, levemente lactífera e demasiadamente variável morfológicamente, se multiplica facilmente por semente e curtos rizomas (LORENZI, 2008).

Nas plantas a regulação do metabolismo, crescimento e respostas a fatores bióticos e abióticos são mediadas por moléculas sinalizadoras que interagem com proteínas celulares específicas receptoras, essas moléculas são chamadas fitormônios. Sendo que, as auxinas são uma classe importante de hormônios vegetais (WOODWARD; BARTEL, 2005). Devido a essencialidade deste hormônio vegetal para o metabolismo e crescimento vegetal, a alteração dos níveis ou da resposta da auxina geralmente leva ao desenvolvimento anormal e à morte da planta, o que levou ao desenvolvimento de herbicidas que imitam a ação da auxina (LECLERE et al., 2018).

O herbicida florypyrauxifen-benzyl vem sendo amplamente utilizado na cultura do arroz, sendo este classificado como auxina sintética, do grupo químico arilpicolinato, desenvolvido para o controle em pós-emergência de capim-arroz, ciperáceas e algumas eudicotiledôneas, inclusive as que apresentam resistência a herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS), que infestam as lavouras de arroz irrigado (MILLER et al., 2017).

Segundo estudo de Wang et al. (2021) o modo de ação do florpiauxifen-benzyl atua estimulando a biossíntese de etileno, levando ao acúmulo de conteúdo de ácido abscísico e espécies reativas de oxigênio e, posteriormente, ocasionando à morte da planta.

A resistência de plantas a herbicidas é caracterizada pela habilidade hereditária de alguns biótipos sobreviverem e se reproduzirem, após exposição a uma dose de herbicida normalmente letal para o biótipo selvagem da mesma espécie (HEAP, 2024). Devendo ser encarada como um dos grandes problemas da agricultura moderna no Brasil e no mundo, uma vez que, o aumento recente de casos de resistência múltipla torna escassa as opções de herbicidas eficientes, e sendo a utilização de herbicidas a ferramenta mais importante no controle de plantas daninhas. Também, é evidente que o mau uso e recomendações errôneas de herbicidas acentuam o surgimento e a distribuição da resistência (MARKUS et al., 2021).

O primeiro caso de resistência da *S. montevidensis* descrito no Brasil foi em 1999, a um herbicida inibidor da ALS, aproximadamente uma década depois identificou-se biótipos com resistência múltipla aos herbicidas inibidores da ALS e do fotossistema II (FS II), com isso, o controle dessa planta daninha veio se dificultando (PITOL, 2019).

Os relatos de falha de controle de *S. montevidensis* após a aplicação de florpyrauxifen-benzyl se tornaram frequentes nas últimas safras. Com o conhecimento desses casos se conduziu um conjunto de estudos para averiguar se de fato se tratava de um novo caso de resistência ao florpyrauxifen-benzyl. Com isso, os objetivos desta pesquisa foram: a) comprovar a resistência de *S. montevidensis* ao herbicida florpyrauxifen-benzyl, b) avaliar a sensibilidade dos biótipos a herbicidas mimetizadores de auxinas de outros grupos químicos, c) avaliar a eficiência dos herbicidas imazethapyr+imazapic, bentazon, saflufenacil, carfentrazone e 2,4-D como alternativas no controle de *S. montevidensis* e d) analisar a atividade fotossintética do biótipo sensível e resistente ao florpyrauxifen-benzyl.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CULTURA DO ARROZ IRRIGADO

Considera-se o arroz (*Oryza sativa*) o produto de maior importância econômica em diversos países em desenvolvimento, cultivado e consumido em diversos continentes, sendo esta, uma cultura com grande capacidade de se adaptar a diferentes condições de solo e clima, destacando-se como o segundo cereal mais consumido a nível mundial, superado somente pelo trigo (SANTOS, 2021).

No Brasil, para a safra 2023/24, a área cultivada com a cultura do arroz foi de aproximadamente 1.591.000 hectares, estimando uma produção de 10.392.000 toneladas do grão, com produtividade média de 6.532 kg/ha (CONAB, 2024).

Dois são os métodos de cultivo de arroz adotados no Brasil, o produzido em terras altas, também chamado arroz de sequeiro, e o de áreas de várzea, ou arroz irrigado. Sendo que, o sistema de produção de arroz predominante no sul do Brasil é o irrigado, participando na safra 2022/23 com 93,1% do total da produção nacional (SILVA; WANDER, 2023), destacando-se para este tipo de cultivo os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, em sistemas como o convencional, o cultivo mínimo, o plantio direto e o pré-germinado (SANTOS, 2021).

O sistema convencional de cultivo de arroz irrigado caracteriza-se pelo preparo do solo anterior a inserção da lâmina de água. Já o sistema de cultivo mínimo destaca-se pela redução do preparo do solo em comparação com o sistema convencional, realizando um preparo antecipado, buscando manter resíduos vegetais sob o solo. E o sistema de plantio direto fundamenta-se no mínimo revolvimento de solo, mantendo resíduos vegetais sob o solo e buscando pela adoção da prática de rotação e sucessão de culturas (SOSBAI, 2014).

O sistema pré-germinado de cultivo de arroz irrigado, diferentemente dos demais sistemas, caracteriza-se pela implantação da cultura com sementes pré-germinadas, distribuídas a lanço, em solo previamente inundado com lâmina de água de aproximadamente 5 cm, ou seja, a entrada de água ocorre simultaneamente ao preparo do solo (GUTZ et al., 2019). Esta técnica traz algumas vantagens, destacando-se o controle de plantas daninhas não adaptadas a ambientes aquáticos e conseqüentemente a menor utilização de herbicidas, a realização do plantio em época adequada, a melhor qualidade do produto e a redução nos custos de produção e maior rentabilidade (RAMOS, 2017).

No sistema pré-germinado, em razão do preparo do solo e da semeadura serem realizadas em lâmina de água, as plantas daninhas favorecidas são as adaptadas ao ambiente aquático, que é o caso da *Sagittaria montevidensis* (CASSOL; AGOSTINETTO; MARIATH, 2008).

2.2 SAGITÁRIA (*Sagittaria montevidensis*)

A *S. montevidensis* faz parte da família Alismataceae a qual possui uma distribuição cosmopolita, com 15 gêneros e cerca de 90 espécies. No Brasil há a ocorrência de cinco gêneros e cerca de 40 espécies (SOUZA; LORENZI, 2019).

A espécie *S. montevidensis* é classificada como uma planta daninha medianamente frequente, infestando principalmente lavouras de arroz irrigado no sul do Brasil, vegetando tanto em áreas úmidas quanto em locais pantanosos. Se trata de uma planta aquática enraizada, herbácea, levemente lactífera e demasiadamente variável morfológicamente, se multiplica facilmente por semente e curtos rizomas. A sua ocorrência se dá em águas poluídas como canais de esgoto a céu aberto onde é capaz de atingir 1,5 m de altura, também em águas limpas onde atinge entre 40 e 60 cm de altura (LORENZI, 2008).

As sementes de *S. montevidensis* estão localizadas em inflorescências unissexuais que dão origem aos aquênios, e são facilmente dispersadas pela água devido a presença de receptáculos livres e ricos em espaços aéreos, que flutuam na água devido tamanho reduzido (KISSMANN, 1997; MATIAS; PESTANA, 2016).

Conforme Ulguim et al. (2018), plantas daninhas aquáticas, como as espécies do gênero *Sagittaria*, predominam no sistema pré-germinado de cultivo de arroz. Cassol; Agostinetto e Mariath (2008), constataram que em solos saturados com ausência de lâmina d'água *S. montevidensis* foi incapaz de germinar, já em solos com presença de lâmina d'água a germinação das sementes de sagitária foi favorecida, atingindo níveis de 94%.

A *S. montevidensis* tem capacidade de produzir mais de 40 mil sementes ao ano, favorecendo a infestação na área e sendo capaz de alimentar o banco de sementes de população resistente no solo, percebe-se o grande problema que a presença dessa planta daninha pode ocasionar na produtividade da cultura do arroz (FIORILLO, 2007).

Então, destaca-se a *S. montevidensis* como uma planta daninha problemática no arroz irrigado, ocorrendo em altas infestações na maioria das áreas de cultivo, principalmente no sistema pré-germinado (MEROTTO JR et al., 2010).

2.3 HERBICIDAS

A utilização e comercialização de produtos químicos para o controle de plantas daninhas instaurou-se pouco antes do século XX. Apesar disso, o controle químico se desenvolveu de fato a partir de 1944, com a descoberta de propriedades fitotóxicas do ingrediente ativo 2,4-D (LORENZI, 2014). Os herbicidas podem ser caracterizados como agentes biológicos ou substâncias químicas capazes de matar ou suprimir o crescimento de espécies específicas (ROMAN et al., 2005).

Segundo Carvalho (2013) há diversas formas de classificar herbicidas. Quanto ao seu espectro de ação, que se refere ao grupo de plantas que o herbicida controla. Também quanto à seletividade, entende-se como seletividade a incapacidade de o herbicida matar determinada espécie, sendo a planta capaz de metabolizar o ingrediente ativo. Quanto à época de aplicação, se a aplicação deve ser realizada em pré-emergência ou pós-emergência. Quanto à translocação na planta podendo ser divididos em herbicidas sistêmicos ou de contato. E quanto ao mecanismo de ação que se relaciona ao sítio de ação dos herbicidas.

Ter conhecimento sobre o mecanismo de ação dos herbicidas auxilia na definição do uso dos produtos, também no diagnóstico de problemas, em seu desempenho e na sua relação com os sintomas e injúrias causados, além de contribuir para a definição de estratégias de manejo contra o desenvolvimento de resistência de plantas a grupos de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação (MARCHI; MARCHI; GUIMARÃES, 2008).

Conforme a HRAC (Comitê de Ação a Resistência aos Herbicidas) os herbicidas classificam-se em 26 grupos químicos, divididos conforme seu mecanismo de ação. Essa classificação visa garantir um consenso global, e é dada de forma numérica. Sendo: grupo 1) inibidores de ACCase; grupo 2) inibidores de ALS; grupo 3) inibidores da formação de microtúbulos; grupo 4) mimetizadores de auxina; grupo 5) inibidores da fotossíntese no fotossistema II – acopladores da D1 serina 264; grupo 6) inibidores da fotossíntese no fotossistema II – acopladores da D1 histidina 215; grupo 9) inibidores da EPSP sintase; grupo 10) inibidores da glutamina sintetase; grupo 12) inibidores da biossíntese de

carotenoides na fitoeno desurease (PDS); grupo 13) inibidores da DXS; grupo 14) inibidores da PPO; grupo 15) inibidores da divisão celular (VLCFA); grupo 18) inibidores da DHP; grupo 19) inibidores do transporte de auxinas; grupo 22) inibidores do fotossistema I; grupo 23) inibidores de mitose; grupo 24) desacopladores de fosforilação oxidativa; grupo 27) inibidores da biossíntese de carotenoides na 4 – HPPD; grupo 28) inibidor da DHODH; grupo 29) inibidores da síntese de celulose; grupo 30) inibidores de ácidos graxos tioesterases; grupo 31) inibidores das proteínas fosfatases de serina e treonina; grupo 32) inibidores da enzima SPS; grupo 33) inibidores da enzima HST; grupo 34) inibidores da enzima licopeno ciclase; e grupo Ø) modos de ação desconhecidos.

2.3.1 Mimetizadores de auxina

Nas plantas a regulação do metabolismo, crescimento e respostas a fatores bióticos e abióticos são mediadas por moléculas sinalizadoras que interagem com proteínas celulares específicas receptoras, essas moléculas são chamadas fitormônios. As auxinas são uma classe importante de hormônios vegetais, o ácido indol-3-acético (IAA) é a principal auxina natural das plantas, tendo influência em praticamente todos os aspectos do crescimento e desenvolvimento das plantas (WOODWARD; BARTEL, 2005).

Segundo Taiz et al. (2017), as principais funções das auxinas naturais são o controle do crescimento do caule e da raiz, o controle de movimentos das plantas através de estímulos da natureza (fototropismo, geotropismo), a formação radicular e a queda de folhas velhas.

Devido a essencialidade deste hormônio vegetal para o metabolismo e crescimento vegetal, a alteração dos níveis ou da resposta da auxina geralmente leva ao desenvolvimento anormal e à morte da planta, o que levou ao desenvolvimento de herbicidas que imitam a ação da auxina (LECLERE et al., 2018).

Os herbicidas mimetizadores de auxinas pertencem ao grupo 4 e são conhecidos por reguladores de crescimento, auxinas sintéticas ou herbicidas hormonais, em função da similaridade estrutural com a auxina natural das plantas (OLIVEIRA JUNIOR, 2011).

As auxinas sintéticas têm atuação como reguladores de crescimento vegetal, promovem desbalanço hormonal nas células, em razão do aumento da biossíntese de etileno, giberelinas, citocininas e ácido abscísico, e, dessa forma, interferem na divisão e na alongação celular (VIDAL et al., 2014). Sendo translocadas tanto via floema quanto xilema e, assim, podendo controlar diversas plantas perenes (OLIVEIRA JUNIOR, 2011).

Segundo Grossmann (2010) a percepção dos herbicidas auxínicos pelas plantas é realizada por receptores de auxina TIR1/AFB, que tem o papel de degradar proteínas repressoras transcricionais Aux/IAA, essas proteínas repressoras estão normalmente ligadas aos fatores de resposta a auxina (ARFs), ou seja, proteínas ativadoras da transcrição. A desrepressão dos ARFs ativa a transcrição de genes responsivos à auxina. Com isso, ocorre o aumento da expressão dos genes ACS (ácido 1-aminociclopropano-1-carboxilato sintase) e NCED (9-cis-epoxicaroteno deoxigenase), fundamentais nas vias de biossíntese do etileno e do ácido abscísico (ABA) (KRAFT et al., 2007). O acúmulo de etileno causa epinastia foliar, inchaço dos tecidos e ondulação da haste. Concomitantemente, etileno estimula a biossíntese duradoura de ABA, que causa fechamento dos estômatos, limitando a transpiração e a assimilação de carbono, causando uma superprodução de espécies reativas de oxigênio (ROS). Além disso, o ABA inibe diretamente a divisão e expansão celular e juntamente com o etileno promovem a senescência foliar, seguido da inibição do crescimento, a dessecação e a decomposição dos tecidos e, por fim, a morte das plantas (HANSEN; GROSSMANN, 2000).

2.3.1.1 Florpyrauxifen-Benzyl

O herbicida florpyrauxifen-benzyl é um mimetizador de auxinas, pertencente ao Grupo 4, segundo classificação internacional do HRAC (Comitê de Ação à Resistência de Herbicidas).

O herbicida comercial Loyant[®], cujo produto técnico é o Rinskor[®], é classificado como auxina sintética, do grupo químico arilpicolinato, desenvolvido para controle em pós-emergência de capim-arroz, ciperáceas e algumas folhas largas. Para o controle de *Sagittaria montevidensis* a dose recomendada do produto comercial é de 0,8 L ha⁻¹, representando uma dose de 20 g i.a. ha⁻¹.

Quimicamente o florpyrauxifen-benzyl é composto por um anel aromático 4 aminopiridina substituído (4-amino-3-cloro-6-(4-cloro-2-fluor-3-metoxifenil)-5-fluor-piridina-2-benzyl éster) que compartilha muitas características com halauxifen-metil, um ingrediente ativo em muitos novos herbicidas (MILLER; NORSWORTHY, 2018).

De acordo com Miller e Norsworthy (2018), na planta o florpyrauxifen-benzyl para se tornar ativo deve ser metabolicamente convertido em ácido florpirauxifen por meio de hidrolise enzimática, por esse motivo, as condições de umidade do solo tem

impacto na atividade dessa molécula, sendo que a maior absorção ocorre em condições úmidas.

No Brasil, a liberação da comercialização do florpyrauxifen-benzyl pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento se deu através do Ato nº 42 de 19 de junho de 2019 (BRASIL, 2019).

2.4 RESISTÊNCIA DE PLANTAS A HERBICIDAS

A resistência de plantas a herbicidas é caracterizada pela habilidade hereditária de alguns biótipos sobreviverem e se reproduzirem, após exposição a uma dose de herbicida normalmente letal para o biótipo selvagem da mesma espécie (HEAP, 2024).

Plantas daninhas resistentes a herbicidas devem ser encaradas como um dos grandes problemas da agricultura moderna no Brasil e no mundo, uma vez que, o aumento recente de casos de resistência reduz as opções eficientes para o controle químico, e a utilização de herbicidas é a ferramenta mais importante no controle de plantas daninhas. Sendo evidente que o mau uso e recomendações errôneas de herbicidas acentuam o surgimento e a distribuição da resistência (MARKUS et al., 2021).

De acordo com Adegas et al. (2017), somente em áreas de cultivo de soja no Brasil, estima-se perdas econômicas na ordem dos 9 bilhões de reais ao ano devido a resistência de plantas daninhas a herbicidas.

Atualmente se tem relatos de 530 casos específicos de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas, com 272 espécies e 168 herbicidas diferentes, sendo esses casos distribuídos em 72 países (HEAP, 2024).

O primeiro caso de resistência de plantas daninhas a herbicidas registrado ocorreu em 1957, onde se identificou biótipos de *Commelina difusa*, nos Estados Unidos da América, e biótipos de *Daucus carota* no Canadá, sendo ambos resistentes a herbicidas do grupo das auxinas sintéticas. No Brasil, os primeiros casos registrados de resistência de plantas daninhas a herbicidas foram em 1993, onde se identificou biótipos de *Bidens pilosa* e *Euphorbia heterophylla* resistentes a herbicidas inibidores da ALS (HEAP, 2024).

Pode-se dizer que a resistência de plantas a herbicidas tem enorme relevância, principalmente em função da limitada quantidade de herbicidas alternativos para utilização no controle de biótipos resistentes, sendo que o número de ingredientes ativos disponíveis para o controle de algumas espécies é restrito e o desenvolvimento de novas moléculas se torna cada vez mais difícil e oneroso (VARGAS; ROMAN, 2006).

Uma planta daninha pode apresentar resistência simples, cruzada ou múltipla. Sendo a resistência a um herbicida específico de um mecanismo de ação, a resistência simples. Já a resistência cruzada ocorre quando uma planta possui apenas um mecanismo de resistência ao tratamento com herbicidas de diferentes classes químicas ou com diferentes modos ou locais de ação. E a resistência múltipla refere-se à resistência a dois ou mais herbicidas, com diferentes mecanismos que conferem resistência (HEAP, 2024).

Os mecanismos envolvidos na resistência de plantas a herbicidas se dividem em duas categorias gerais, resistência no local-alvo, “Target-site resistance” (TSR), e resistência no local não-alvo, “Nontarget-site resistance” (NTSR).

A resistência no local-alvo envolve alterações no sítio de ação do herbicida que comprometem sua atividade, podendo ocorrer devido a mutações, aumento da expressão gênica, polimorfismos múltiplos de nucleotídeos, interações receptor/co-receptor, entre outros, causando a perda da afinidade da molécula pelo local de ação na enzima (GAINES et al., 2020).

Já a os mecanismos não relacionados ao local alvo podem conferir resistência da planta daninha ao herbicida devido aumento do metabolismo, desintoxicação de herbicidas e redução da absorção e translocação (MENENDEZ; ROJANO-DELGADO; DE PRADO, 2014).

2.5 RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS A HERBICIDAS MIMETIZADORES DE AUXINAS

Atualmente, em todo o mundo, estão registrados 87 casos de resistência ao mecanismo de ação das auxinas sintéticas, sendo que seis desses casos ocorrem no Brasil. As espécies com resistência a herbicidas mimetizadores de auxina no Brasil são *Conyza sumatrensis*, *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli*, *Echinochloa crus-pavonis* e *Sagittaria montevidensis* (HEAP, 2024).

Mundialmente o primeiro caso registrado de resistência de plantas daninhas a herbicidas foi a herbicidas mimetizadores de auxina, ocorrido em 1957, onde se identificou biótipos de *Commelina diffusa* nos Estados Unidos, e biótipos de *Daucus carota* no Canadá (HEAP, 2024).

Apesar dos herbicidas mimetizadores de auxina estarem no mercado a muito tempo, seus modos de ação específicos ainda não são totalmente conhecidos, o que

dificulta o estudo dos mecanismos de resistência, tanto no local de ação como fora dele (TORRA et al., 2017).

Em estudo realizado por Torra et al. (2017), ao avaliar biótipos de *Papaver rhoeas* resistentes a 2,4-D expostos ao malathion, para indução da inibição do citocromo P450, e ao herbicida 2,4-D, percebeu uma redução no fator de resistência no biótipo que esteve em contato com o malation em relação ao biótipo sem aplicação de malation, concluindo, assim, a interação do citocromo P450 como mecanismo NTSR.

Potenciais mecanismos de resistência não relacionados ao sítio de ação das auxinas sintéticas foram descritos em trabalho realizado com *Echinochloa crus-galli* resistente ao florpyrauxifen-benzyl, onde verificou que reduções na absorção do florpyrauxifen-benzyl e na produção de ácido-florpirauxifeno estão envolvidas na evolução resistência (HWANG et al., 2021).

Rey-Caballero et al. (2015) demonstraram que a falta de absorção ou translocação pode ser um mecanismo de resistência das auxinas sintéticas, para isso, os autores avaliaram biótipos resistentes e suscetíveis de *Papaver rhoeas* expostos a 2,4-D com marcadores radioativos. A partir disso, foi analisado a porcentagem de radioatividade absorvida e translocada pelos biótipos e os resultados encontrados demonstram que houve diferenças na translocação, em que o biótipo sensível apresentou maior translocação de 2,4-D da parte aérea e raízes, e os biótipos resistentes tiveram, em média, 85% menos translocação em relação ao biótipo sensível, demonstrando que a redução na translocação é um mecanismo de resistência.

O mecanismo envolvido na resistência de *Chenopodium album* ao herbicida dicamba foi elucidado em estudo realizado por Ghanizadeh et al. (2023), que através do sequenciamento genético constatou substituição de aminoácido no gene Aux/IAA16, causando mudanças na sua estrutura, alterando o sítio de ação do herbicida.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 COLETA DO MATERIAL VEGETAL E REPRODUÇÃO DOS BIÓTIPOS

Plantas de *Sagittaria montevidensis* (R) não controladas após exposição a dose recomendada em bula do herbicida florpyrauxifen-benzyl foram coletadas em área de cultivo de arroz irrigado no sistema pré-germinado, na região de Viamão – RS (30°01'50,6" S, 50°55'02,8" O e 6 m de altitude). As plantas coletadas foram mantidas em casa de vegetação, em vasos até a produção de sementes, obtendo-se a geração F1 (R – F1). As sementes da segunda geração (R – F2) foram obtidas pela multiplicação das plantas sobreviventes R – F1.

Já a população sensível (S) foi coletada em área de várzea, onde sabidamente nunca houve tratamento com o herbicida florpyrauxifen-benzyl, em Turvo – SC, e foi confirmada a sensibilidade a mimetizadores de auxina com um estudo preliminar em casa de vegetação. As sementes foram coletadas e posteriormente realizou-se a limpeza e armazenamento a 5°C.

A semeadura foi realizada em solo com lâmina d'água de 2 cm em vasos com capacidade de 3,6 dm³, além disso, realizou-se no momento da implantação do experimento adubação do solo com adubo NPK (10-10-10). A unidade experimental constituiu-se de um vaso com duas plantas de sagitária, em todos os experimentos conduzidos. As plantas foram mantidas durante todo o período experimental em casa de vegetação localizada na área experimental do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages – SC (27°47'34,58" S, 50°18'04,32" O e 904 m de altitude), com temperatura média de 25°C, 55% de umidade relativa do ar e irrigadas manualmente diariamente para manutenção de uma lâmina de água de 3 cm.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) em Lages-SC (27°47'34,58" S, 50°18'04,32" O e 904 m de altitude).

Os herbicidas foram aplicados com pulverizador de precisão pressurizado a CO₂, com barras de quatro bicos, espaçamento de 0,5 m entre os bicos, pontas de jato plano

com indução de ar, modelo AIXR 110 015, utilizando pressão de trabalho de 200 kPa, velocidade de desolamento de 1 m s^{-1} e com taxa de aplicação de 150 L ha^{-1} . As aplicações foram realizadas quando as plantas estavam com 3 a 5 folhas completamente expandidas.

3.3 DOSE RESPOSTA DE FLORPYRAUXIFEN-BENZYL

Os experimentos foram conduzidos em duas gerações, utilizando as plantas das gerações F1 e F2 das populações R e S. Sendo que, os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×8 , com quatro repetições, totalizando 16 tratamentos em cada experimento.

O primeiro fator correspondeu aos biótipos R e S de *S. montevidensis*. E o segundo fator foram aplicação de oito doses crescentes do herbicida florpyrauxifen-benzyl, grupo químico dos arilpicolinato, produto comercial Loyant[®], indicado para o controle de *S. montevidensis* na dose de $0,8 \text{ L p.c. ha}^{-1}$, com concentração de 25 g L^{-1} de benzyl 4-amino-3-chloro-6-(4-chloro-2-fluoro-3-methoxyphenyl)-5-fluoropyridine-2-carboxylate. Utilizou-se as doses de florpyrauxifen-benzyl: 0, 5, 10, 20, 40, 80, 160 e $320 \text{ g i.a. ha}^{-1}$, ou seja, 0D, 1/4D, 1/2D, 1D, 2D, 4D, 8D, 16D, sendo que a dose 1D refere-se a dose recomendada na bula do herbicida florpyrauxifen-benzyl.

Avaliou-se a porcentagem visual de controle aos 7, 14 e 28 dias após a aplicação (DAA), onde se atribuiu controle 0% quando não visualizou nenhuma injúria e 100% quando ocorreu a morte da planta (KUVA et al. 2016). Além disso, para o experimento com a geração F2, aos 28 DAA realizou a obtenção da massa seca da parte aérea, cortando as plantas rente ao solo e realizando a secagem das plantas em estufa de circulação de ar forçado, por 72 horas a 65°C até a estabilização da massa seca, para a quantificação foi utilizado uma balança de precisão, para obtenção da variável massa seca da parte aérea (MSPA).

3.4 DOSE RESPOSTA A AUXINAS SINTÉTICAS DE OUTROS GRUPOS QUÍMICOS

Após a confirmação da resistência o experimento foi conduzido com plantas da geração F2 das populações R e S. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 3 \times 8$, com quatro repetições.

As plantas foram tratadas com três auxinas sintéticas (grupo 4), de grupos químicos distintos, aplicando doses crescentes. Os herbicidas usados foram: 2,4-D, produto comercial Aminol 806[®] (0; 251,25; 502,5; 1005; 2010; 4020; 8040 e 16080 g e.a ha⁻¹); dicamba, produto comercial Atectra[®] (0, 80, 360,720, 1440, 2880, 5760 e 11520 g i.a ha⁻¹); e triclopyr, produto comercial Triclon[®] (0, 240, 480, 960, 1920, 3840, 7680 e 15360 g i.a ha⁻¹).

Foram realizadas avaliações de porcentagem visual de controle aos 7, 14 e 28 dias após a aplicação (DAA), onde se atribuiu controle 0% quando não visualizou nenhuma injúria e 100% quando ocorreu a morte da planta (KUVA et al. 2016). E aos 28 DAA realizou a obtenção da massa seca da parte aérea, cortando as plantas rente ao solo e realizando a secagem das plantas em estufa de circulação de ar forçado, por 72 horas a 65°C até a estabilização da massa seca, para a quantificação foi utilizado uma balança de precisão, para obtenção da variável massa seca da parte aérea (MSPA).

3.5 CONTROLE ALTERNATIVO PARA O BIÓTIPO RESISTENTE E SENSÍVEL AO FLORPYRAUXIFEN-BENZYL

Realizou-se a avaliação da eficácia dos herbicidas imazetapyr + imazapic, bentazon, saflufenacil, carfentrazone-ethyl e 2,4-D, como alternativas para o controle de *S. montevidensis*. Para tanto, o experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 6, com quatro repetições. Utilizou-se plantas da geração F2 das populações R e S, que formaram o primeiro fator. Os herbicidas formaram o segundo fator, e foram aplicados nas doses de 112,5 g + 37,5 g de i.a. ha⁻¹ de imazetapyr+imazapic, utilizando o produto comercial Only[®], 960 g i.a. ha⁻¹ de bentazon, produto comercial Basagran[®], 98 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil, com o produto comercial Heat[®], 50 g i.a. ha⁻¹ de carfentrazone-ethyl, sendo utilizado o herbicida Aurora[®], e 536 e.a. ha⁻¹ de 2,4-D, produto comercial Aminol 806[®], e para todos os tratamentos utilizou-se óleo vegetal como adjuvante para calda, na dose de 0,5% v v⁻¹, além disso, manteve-se uma testemunha sem aplicação.

As avaliações foram de porcentagem visual de controle aos 7, 14 e 28 dias após a aplicação (DAA), onde se atribuiu controle 0% quando não visualizou nenhuma injúria e 100% quando ocorreu a morte da planta (KUVA et al. 2016). E aos 28 DAA foi realizada a obtenção da massa seca da parte aérea, cortando as plantas rente ao solo e realizando a secagem das plantas em estufa de circulação de ar forçado, por 72 horas a 65°C até a

estabilização da massa seca, para a quantificação foi utilizado uma balança de precisão, para obtenção da variável massa seca da parte aérea (MSPA).

3.6 ATIVIDADE FOTOSSINTÉTICA DOS BIÓTIPOS RESISTENTE E SENSÍVEL AO FLORPYRAUXIFEN-BENZYL

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Para este experimento foram utilizadas plantas da geração F2 dos biótipos R e S, onde foi realizada ou não aplicação do herbicida floryrauxifen-benzyl, utilizando a dose recomendada em bula, de 20 g i.a ha⁻¹, para avaliar o comportamento fotossintético entre os dois biótipos e, além disso, observar se a aplicação do herbicida causa alterações na atividade fotossintética. Para tanto, utilizou-se os equipamentos IRGA LI-6400XT e MINI PAM II.

Para as avaliações utilizou-se a última folha completamente expandida. Foi também, realizada a adaptação das plantas ao escuro, 30 min antes das avaliações as folhas das plantas foram cobertas com material opaco, impedindo a incidência de luz sobre elas.

Para o equipamento IRGA LI-6400XT as avaliações foram realizadas às 24, 48 e 72 horas após a aplicação do herbicida (HAA), este equipamento forneceu a taxa fotossintética, a transpiração, a condutância estomática e a concentração interna de CO₂. E para o equipamento MINI PAM II as avaliações foram realizadas às 6, 12, 24, 48 e 72 HAA, fornecendo os dados de fluorescência mínima (Fo), fluorescência máxima (Fm), rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm) e taxa de transporte de elétrons (ETR).

3.7 ANÁLISE DE DADOS

Os ensaios de dose resposta foram submetidos a análise de variância pelo teste F e a regressão não linear, onde quatro parâmetros foram ajustados:

$$y = \frac{a * x}{(b + x)}$$

Sendo y a variável dependente (massa seca ou porcentagem de controle), a assíntota, x a variável independente (doses dos herbicidas), b a taxa que fornece 50% de A (DL_{50} OU GR_{50}). A partir disto, foram estimadas dose letal 50 (DL_{50}) e dose letal 80 (DL_{80}) que são as doses de herbicida necessárias para proporcionar 50% e 80% do controle, respectivamente. E também, a dose para dose necessária para reduzir 50% a massa seca (GR_{50}). O quociente entre a DL_{50} do biótipo resistente (R-F1 e R-F2) e a DL_{50} do biótipo suscetível (S) foi calculado para estimar o fator de resistência (FR), que se caracteriza pelo número de vezes em que a dose necessária para proporcionar 50% de controle ou de redução na produção de massa seca do biótipo suscetível deve ser aumentada, para que possa ocorrer o mesmo efeito sobre o biótipo resistente (GAZZIERO et al., 1998), da mesma forma, mas utilizando os valores de GR_{50} calculou-se o índice de resistência (IR).

$$IR = \frac{GR_{50(R)}}{GR_{50(S)}} \qquad FR = \frac{DL_{50(R)}}{DL_{50(S)}}$$

Além disso, fez-se necessário estimar dose letal 20 (DL_{20}) e dose letal 13 (DL_{13}), ou seja, as doses de herbicida para proporcionar 20% e 13% do controle, tendo em vista que o biótipo R não alcançou 50% de controle nas duas gerações, sendo necessário realizar uma estimativa deste valor. Também, com os valores de DL_{20} e DL_{13} foram calculados os FR_{20} e FR_{13} para o biótipo resistente.

$$FR_{20} = \frac{DL_{20(R)}}{DL_{20(S)}} \qquad FR_{13} = \frac{DL_{13(R)}}{DL_{13(S)}}$$

Para o experimento de controle alternativo os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

E para o experimento de avaliação fotossintética, com os dados obtidos realizou-se a análise estatística de variância, onde as variáveis obtidas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.8 CRITÉRIOS PARA CONFIRMAÇÃO DE RESISTÊNCIA

Para a confirmação da resistência seguiu-se os dez passos para relatos de novos casos de resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil proposto pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPB, 2018). A resistência se confirma quando o $FR > 1,0$, a DL80 superior a dose máxima recomendada em bula nas duas gerações e resistência se tratar de uma característica herdável, mantendo-se na geração F2.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DOSE RESPOSTA DE FLORPYRAUXIFEN-BENZYL

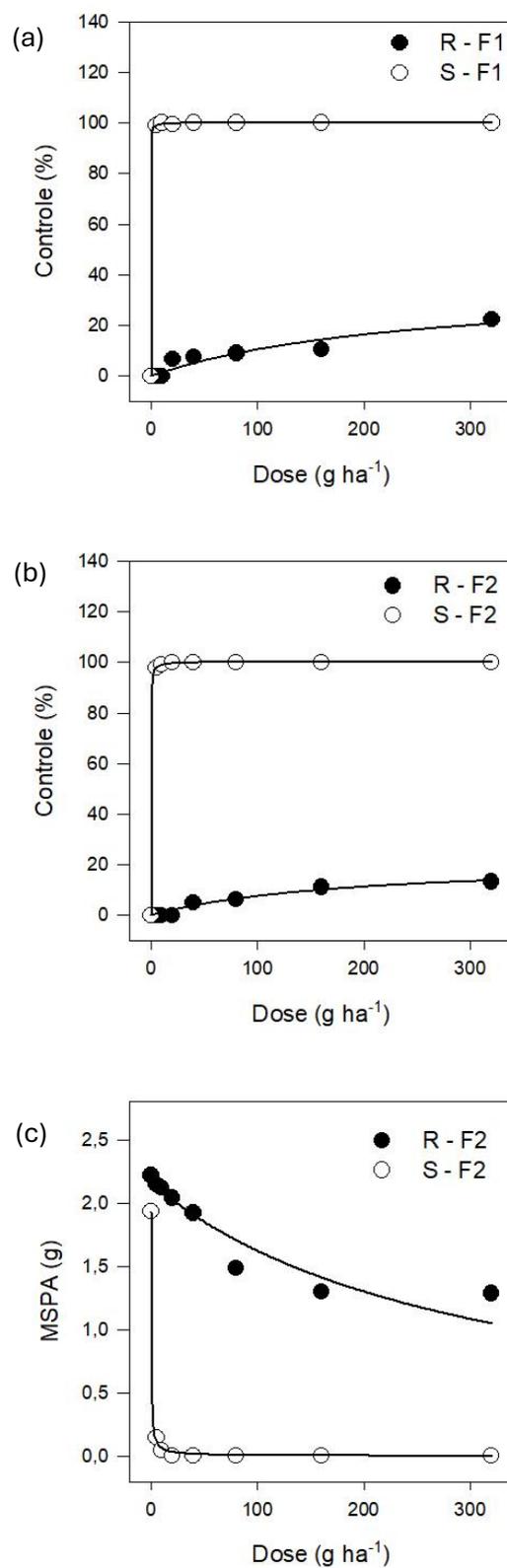
Para o biótipo R o controle máximo não ultrapassou 20% nas duas gerações avaliadas (Figura 1), enquanto o biótipo S demonstrou alta sensibilidade ao herbicida florpyrauxifen-benzyl, alcançando controle satisfatório mesmo em baixas doses do herbicida, com 97% de controle a partir da dose de 5 g i.a ha⁻¹, independentemente da geração. Essa dose representa apenas 25% da dose recomendada em bula (Figura 2).

O valor de GR50 para os biótipos R e S da geração F2 foram >320 e 0,345 g i.a. ha⁻¹ respectivamente, ilustrando a grande diferença entre o biótipo resistente e o sensível.

Os FR foram >700 e >2600 para geração F1 e F2, respectivamente. Além disso, as duas gerações avaliadas do biótipo R apresentaram DL80 >320 g i.a. ha⁻¹, sendo essa dose expressivamente superior a dose máxima recomendada em bula. Dessa forma, confirmou-se a resistência ao florpyrauxifen-benzyl.

As DL50 foram superiores a 320 g ha⁻¹ para as duas gerações do biótipo R, já a população S teve uma DL50 de 0,45 g i.a. ha⁻¹ (Tabela 1), considerando que a dose indicada a campo é 20 g i.a. ha⁻¹, o biótipo R pode ser considerado altamente resistente ao florpyrauxifen-benzyl.

Figura 1 – Curvas de dose resposta ao florpiauxifen-benzyl para as gerações F1 (a) e F2 (b) das populações resistente (R) e suscetível (S) de *S. montevidensis* e massa seca da parte aérea (MSPA) para a geração F2 das populações R e S de *S. montevidensis* (c).



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Figura 2 – Ensaio de dose resposta ao florpyrauxifen-benzyl utilizando a geração F2 de *S. montevidensis* resistente (R) e suscetível (S).



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Tabela 1 – Parâmetros obtidos no teste de dose resposta e fatores de resistência em duas gerações da população de *S. montevidensis* resistente (R) e suscetível (S) ao florpyrauxifen-benzyl.

Parâmetros	Unidades	Geração F1		Geração F2	
		Biótipo S	Biótipo R	Biótipo S	Biótipo R
Controle Máximo	%	100	20,6	100	13,8
DL ₁₃	g i.a. ha ⁻¹	0,007	137	0,018	274
DL ₂₀	g i.a. ha ⁻¹	0,012	299,2	0,030	>320
DL ₅₀	g i.a. ha ⁻¹	0,046	>320	0,121	>320
DL ₈₀	g i.a. ha ⁻¹	0,183	>320	0,481	>320
DL ₉₀	g i.a. ha ⁻¹	0,410	>320	1,071	>320
GR ₅₀	g i.a ha ⁻¹	-	-	0,345	>320
FR ₅₀	-	-	>700,2	-	>2644
FR ₂₀	-	-	26017,4	-	>10596
FR ₁₃	-	-	19885	-	15138

Fonte: Elaborada pela autora (2024).

O caso de resistência confirmado trata-se do primeiro caso global de resistência de *S. montevidensis* ao herbicida florpyrauxifen-benzyl. No Brasil, outro relato de resistência ao florpyrauxifen-benzyl foi descrito na espécie *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli*, já resistente a outros dois mecanismos de ação herbicida (HEAP, 2024). Posteriormente, casos de resistência ao mesmo herbicida foram encontrados para *Echinochloa crus-galli* (JIN et al., 2023; HWANG et al., 2021) mas com fatores de resistência inferiores ao relatado neste estudo.

Distintos níveis de resistência podem se dar devido a diferença no mecanismo envolvido na resistência, diferença na frequência da resistência dentro das populações, além de diferenças em relação ao número e dominância de alelos envolvidos na resistência (YANG et al., 2020).

A resistência de plantas daninhas a mimetizadores de auxinas, quando relacionada a alterações no local alvo do herbicida, podem se dar devido a um único gene dominante (PRESTON et al., 2009), um único gene recessivo (SABBA et al., 2003) ou mais de um gene.

Yang et al. (2020) descreveram a relação do alto índice de resistência de *Echinochloa crus-galli* ao quinclorac (FR>570), com a alteração na percepção do sinal de auxina pela planta resistente, supondo que resistência é controlada por um único gene principal.

Conforme Preston e Malone (2014), um único gene dominante tem sua dispersão facilitada dentro da população, acelerando o processo de propagação da resistência após estabelecida em uma espécie, ou seja, aumentando sua frequência na população.

O primeiro caso de resistência de *S. montevidensis* descrito no Brasil foi em 1999, a um herbicida inibidor da enzima acetolactato sintase (ALS), aproximadamente uma década depois identificou-se biótipos com resistência múltipla aos herbicidas inibidores da ALS e do fotossistema II (FS II) (MOURA et al., 2015), com isso, o controle dessa planta daninha foi sendo dificultado. Pode-se dizer que a resistência de *S. montevidensis* ao herbicida florypyrauxifen-benzyl é um sério problema, afetando significativamente o arroz irrigado, devendo-se pensar em medidas para a mitigação desses problemas.

O manejo integrado de plantas daninhas (MIPD) é indispensável. Nesse sentido, a rotação de culturas é uma prática a ser adotada, principalmente a adequação para o cultivo de soja ou milho na várzea. Outra prática cultural relevante é a rotação do sistema de produção, com a adoção do cultivo mínimo em alternância com o sistema pré-germinado. As duas práticas físicas/culturais permitem o cultivo em solo drenado, fato que naturalmente desfavorece o estabelecimento de *S. montevidensis*. A rotação de culturas e sistema de produção também amplia as possibilidades para diversificação dos mecanismos de ação dos herbicidas. A diversificação dos mecanismos de ação é uma prática fundamental para sustentabilidade do controle químico. Em vista disso, os herbicidas inibidores de fotossistema II e inibidores da PROTOX são mecanismos de ação estratégicos para o manejo desse biótipo no arroz irrigado. Outra medida recomendada é a mitigação da dispersão de diásporos do biótipo resistente, adotando-se práticas como

limpeza de máquinas, controle da água da irrigação e drenagem, além da eliminação de plantas no período da entressafra.

Diante do exposto, os altos índices de resistência encontrados para as duas gerações de *S. montevidensis* trazem a hipótese de que o mecanismo envolvido na resistência desta população está relacionado ao sítio-alvo do herbicida, podendo ser um único gene dominante responsável pela resistência. Essa hipótese, precisa ser testada em pesquisas futuras.

4.2 DOSE RESPOSTA A AUXINAS SINTÉTICAS DE OUTROS GRUPOS QUÍMICOS

O fator de resistência (FR) do biótipo R para os herbicidas dicamba, 2,4-D e triclopyr foi $<1,0$ (Tabela 1), as DL80 para o biótipo R utilizando os herbicidas 2,4-D e Triclopyr foram menor ou igual a dose recomendada em bula dos herbicidas. Dessa forma, descarta-se a possibilidade de resistência cruzada às auxinas sintéticas, demonstrando a sensibilidade do biótipo R de *S. montevidensis* a outros grupos químicos.

Comparando os valores de doses letais para 50% do controle (DL50) obtidos, os biótipos R e S assemelham-se nos tratamentos com os herbicidas dicamba e 2,4-D. Já para o herbicida triclopyr pôde-se observar que o biótipo R apresenta DL50 menor quando comparada a obtida para o biótipo S, demonstrando que este biótipo é mais sensível ao triclopyr que o biótipo sabidamente S.

O herbicida dicamba apresentou um menor controle tanto para o biótipo R quanto para S, sendo este herbicida menos eficaz para o controle da espécie de *S. montevidensis*, característica essa intrínseca da espécie, não tendo relação com a resistência, pois foi reproduzida em ambos os biótipos. A baixa eficácia do herbicida dicamba em plantas monocotiledôneas é responsável por isso.

Tabela 2 – Parâmetros obtidos no teste de dose resposta aos 28 DAA e fatores de resistência para os herbicidas dicamba, 2,4-D e triclopyr em população de *S. montevidensis* resistente e suscetível ao florpyrauxifen-benzyl.

Parâmetros	Unidades	Tratamentos					
		Dicamba		2,4-D		Triclopyr	
		Biótipo S	Biótipo R	Biótipo S	Biótipo R	Biótipo S	Biótipo R
Controle máximo	%	86,50	80,25	100	99,75	100	97,5
DL50	g i.a. ha ⁻¹	96,50	77,30	32	23,20	31,30	7,55
DL80	g i.a. ha ⁻¹	11520	11520	128	106,60	123,40	35,40
FR	-	-	0,80	-	0,72	-	0,24

Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Estes resultados demonstram que apesar da população apresentar resistência ao florpyrauxifen-benzyl, que pertence ao mecanismo de ação das auxinas sintéticas, a mesma população teve controle eficiente ao utilizar diferentes herbicidas do mesmo mecanismo de ação, mantendo, assim, a sensibilidade a outros grupos químicos das auxinas sintéticas, confirmando se tratar de um caso de resistência simples.

Diferenças na sensibilidade às auxinas sintéticas foram demonstradas em estudo realizado com plantas de *Arabidopsis*. Onde percebeu-se que plantas com sítio de mutação envolvendo o transporte de auxina, ou seja, com mudança na localização de AUX1, que é um transportador de influxo de auxina, são insensíveis ao herbicida 2,4-D mas permanecem sensíveis ao herbicida dicamba, indicando que o herbicida dicamba tem a capacidade de permear as células vegetais sem a necessidade de um transportador ou pode utilizar um transportador alternativo para este processo (GLEASON et al., 2011).

Em estudo realizado por Walsh et al. (2006), foi identificado que mutações em um receptor de auxina conferiam resistência ao herbicida picloram, mas mantinham a sensibilidade das plantas ao herbicida 2,4-D, sugerindo diferenças significativas na percepção química das auxinas sintéticas nos componentes a montante da via, contribuindo para variações nos efeitos de diferentes auxinas sintéticas.

Esses trabalhos ilustram que apesar de auxinas sintéticas induzirem eventos morfológicos, fisiológicos e moleculares semelhantes nas plantas, os diferentes grupos químicos dentro das auxinas sintéticas podem atuar através de mecanismos e componentes de percepção, transdução e transporte de sinal diferentes.

4.3. ALTERNATIVAS PARA O CONTROLE QUÍMICO DE SAGITÁRIA RESISTENTE AO FLORPYRAUXIFEN-BENZYL

O herbicida 2,4-D apresentou baixa eficiência para o controle do biótipo R, pois na avaliação de 28 DAA o controle não ultrapassou 75%, porém o mesmo herbicida foi eficiente no controle do biótipo S, atingindo 98% de controle aos 28 DAA (Tabela 3).

Já o herbicida imazethapyr + imazapic não teve efetividade no controle dos biótipos R e S, pois aos 28 DAA o controle não superou 17% e 58% respectivamente, levantando-se a suspeita de resistência múltipla de *S. montevidensis* ao florpyrauxifen-benzyl e a herbicidas inibidores da ALS.

Vários biótipos de *S. montevidensis* foram identificados como resistentes aos herbicidas inibidores da ALS (Merotto Jr. et al., 2010). Resistência de *S. montevidensis* ao herbicida imazethapyr + imazapic foi descrita por Moura et al. (2015), onde mesmo nas maiores doses testadas o biótipo R obteve controle inferior a 20%.

Em estudo realizado por Noldin et al. (2004), foi possível notar que o herbicida imazethapyr + imazapic, quando aplicado em áreas com grande infestação de *S. montevidensis* (> 35 plantas m^{-2}) não proporcionou controle satisfatório, sugerindo, dessa forma, a elevada ocorrência de plantas resistentes a este herbicida.

Neste trabalho, independentemente do biótipo, os melhores tratamentos foram com os herbicidas saflufenacil, bentazon e carfentrazone, alcançando aos 28 DAA controle de 98%, 97,5% e 94,5% respectivamente, demonstrando a eficácia desses herbicidas. Para o biótipo S, os herbicidas saflufenacil, bentazon e carfentrazone alcançaram notas de controle de 99,25%, 100% e 86%.

O herbicida saflufenacil é uma boa alternativa em pós-emergência do arroz irrigado para o controle de *S. montevidensis*, ressaltando que mesmo em plantas com resistência múltipla a herbicidas inibidores da ALS e inibidores do FSII, este herbicida apresentou controle superior a 90% (MOURA et al., 2015).

Os herbicidas bentazon e carfentrazone proporcionam controle satisfatório de *S. montevidensis*, obtendo controle superior a 85% utilizando ambos os herbicidas, quando testado biótipos resistentes a herbicidas inibidores da ALS, desta maneira, representando boas alternativas para o controle da espécie (NOLDIN et al., 2004).

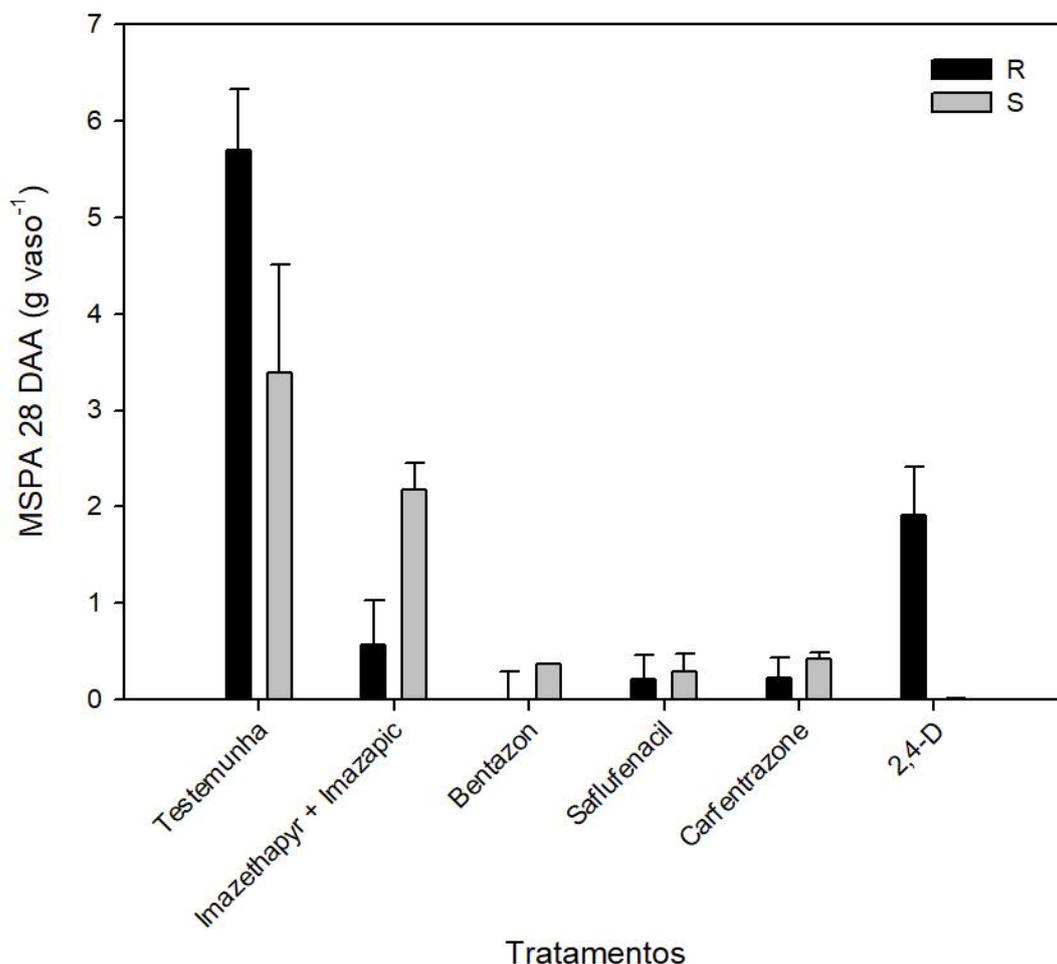
Tabela 3 – Parâmetros obtidos na avaliação de eficiência de controle dos herbicidas imazethapyr+imazapic, saflufenacil, bentazon, carfentrazone e 2,4-D para os biótipos resistente (R) e suscetível (S) de *S. montevidensis*.

Tratamento	Controle (%)					
	7 DAA		14 DAA		28 DAA	
	S	R	S	R	S	R
Testemunha	0 Ae ¹	0 Ae	0 Ad	0 Ae	0 Ac	0 Ad
Imazethapyr + Imazapic	24,75 Ad	8,75 Bd	51 Ac	16,50 Bd	58,75 Ab	16,75 Bc
Bentazon	56,25 Ac	45 Bc	96 Aa	73,25 Bb	100 Aa	97,50 Aa
Saflufenacil	89,25 Aa	88,75 Aa	97,75 Aa	95,75 Aa	99,25 Aa	98 Aa
Carfentrazone	79 Ab	79 Ab	89,25 Aa	95,50 Aa	86 Aa	94,50 Aa
2,4-D	58,75 Ac	50 Bc	72,50 Ab	43,25 Bc	98,25 Aa	73,25 Bb
CV (%)	7,63					
DMS	2,288					

¹ Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna (Tratamento) e maiúscula na linha (Biótipo) não diferem pelo teste de Tukey (p>0,05).
Fonte: Elaborada pela autora (2024).

O acúmulo de MSPA refletiu a eficiência de controle, onde os tratamentos com bentazon, saflufenacil e carfentrazone acumularam menos de 0,4 g vaso⁻¹ de MSPA, enquanto a testemunha e imazethapyr + imazapic acumularam biomassa de 3,4 e 2,2 g vaso⁻¹, no biótipo R (Figura 3).

Figura 3 – Massa seca da parte aérea aos 28 dias após a aplicação (DAA) para os biótipos R e S de *S. montevidensis* ao utilizar os herbicidas imazethapyr+imazapic, saflufenacil, bentazon, carfentrazone e 2,4-D.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

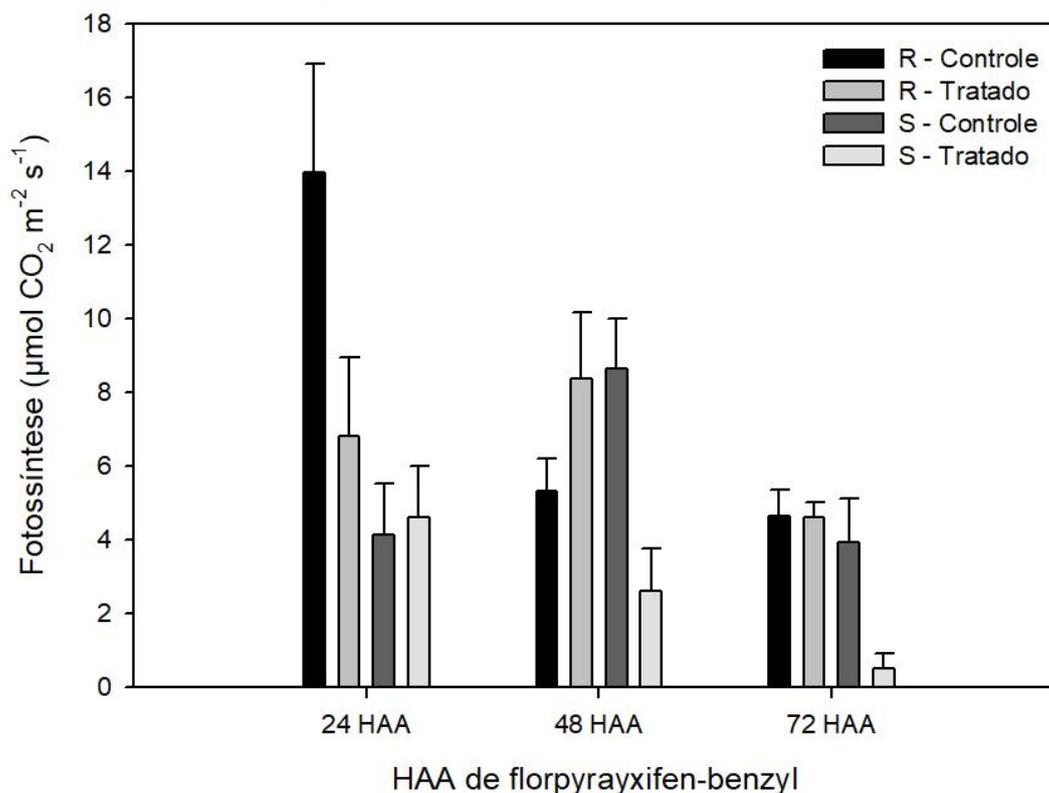
4.4 ATIVIDADE FOTOSINTÉTICA DOS BIÓTIPOS RESISTENTE E SENSÍVEL AO FLORPYRAUXIFEN-BENZYL

O biótipo R de *S. montevidensis* que recebeu aplicação do herbicida florpyrauxifen-benzyl manteve a fotossíntese em níveis estáveis, seguindo o padrão da testemunha sem aplicação, durante todo o período de avaliação (Figura 4). Dessa maneira, demonstrou-se que a aplicação do herbicida florpyrauxifen-benzyl não afetou o aparato fotossintético das plantas do biótipo resistente de *S. montevidensis*.

De maneira oposta, o biótipo S de *S. montevidensis* que recebeu a aplicação do herbicida florpyrauxifen-benzyl, a partir da avaliação de 48 HAA teve drástica redução na fotossíntese, sendo que, esta redução agravou-se a partir da avaliação de 72 HAA

(Figura 4). Assim, percebe-se que após a aplicação do herbicida o biótipo S de *S. montevidensis* apresentou redução na taxa fotossintética.

Figura 4 – Fotossíntese as 24, 48 e 72 horas após a aplicação (HAA) de florypraxifen-benzyl para os biótipos R e S de *S. montevidensis*.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

A aplicação de herbicidas auxínicos causa elevação no nível de hormônio nas células da planta e desregula a expressão dos genes responsivos à auxina devido a ligação com receptores de auxina TIR1/AFB, causando a degradação de proteínas repressoras transcricionais AUX/IAA (GROSSMANN, 2010; GAINES, 2020).

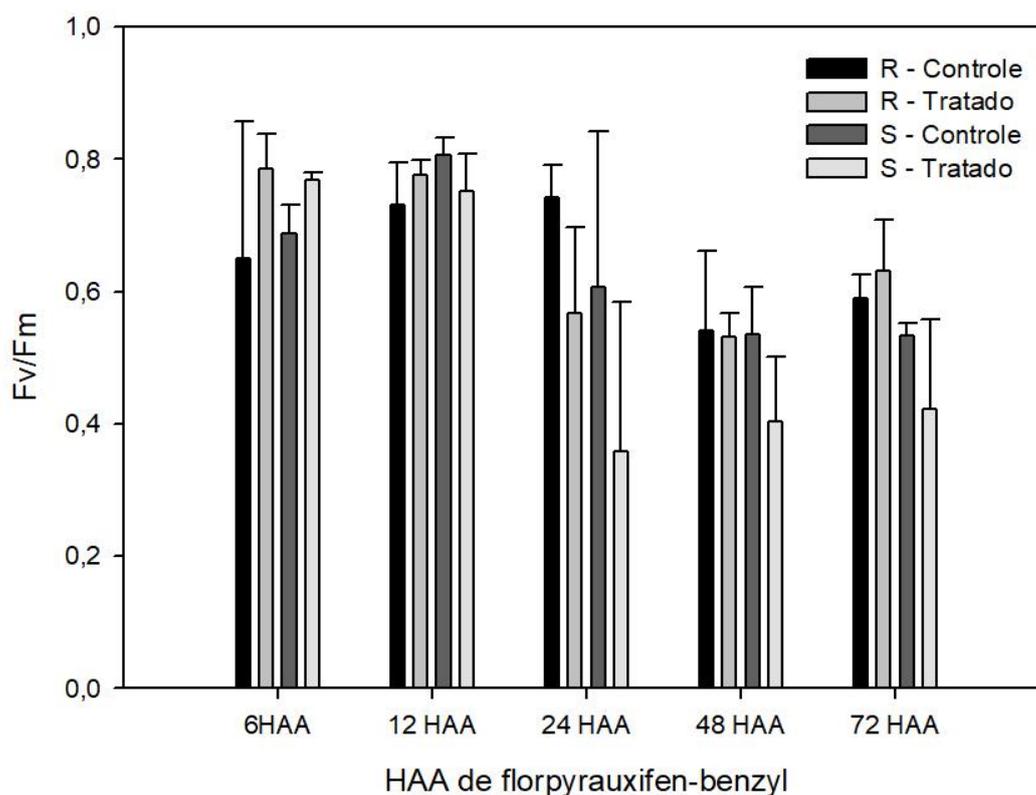
McCauley et al. (2020), propuseram que 9-cis-epoxicaroteno deoxigenase (NCED) é o principal gene responsivo à auxina que causa a morte das plantas, sua rápida regulação positiva é fundamental para biossíntese e o acúmulo de ácido abscísico, seguidos de repressão geral da transcrição relacionada à fotossíntese e senescência foliar.

Além disso, percebeu-se que ao aplicar um herbicida auxínico uma rede de genes relacionados a fotossíntese é negativamente regulada. Supondo, desta maneira, que os herbicidas mimetizadores de auxina não têm como alvo um componente específico da fotossíntese, mas causam uma regulação negativa da transcrição em massa de múltiplos componentes fotossintéticos (MCCAULEY et al., 2020).

Assim, a falta de percepção do sinal de auxina nas plantas resistentes pode se tratar do mecanismo envolvido na resistência, uma vez que plantas de *S. montevidensis* resistentes não apresentam regulação negativa da fotossíntese.

Ao avaliar o rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm), observou-se que o biótipo R de *S. montevidensis* que recebeu aplicação do herbicida florpyrauxifen-benzyl seguiu o padrão da testemunha sem aplicação, durante todo o período de avaliação. Por outro lado, o biótipo S de *S. montevidensis* que recebeu a aplicação do herbicida florpyrauxifen-benzyl às 72 HAA diferenciou-se do biótipo R que também recebeu aplicação do herbicida, apresentando um Fv/Fm de 0,422, essa redução da razão Fv/Fm é um indicador de efeito inibitório, quando as plantas estão submetidas ao estresse (figura 5).

Figura 5 – Rendimento quântico máximo do fotossistema II as 6, 12, 24, 48 e 72 HAA de florpyrauxifen-benzyl para os biótipos R e S de *S. montevidensis*.



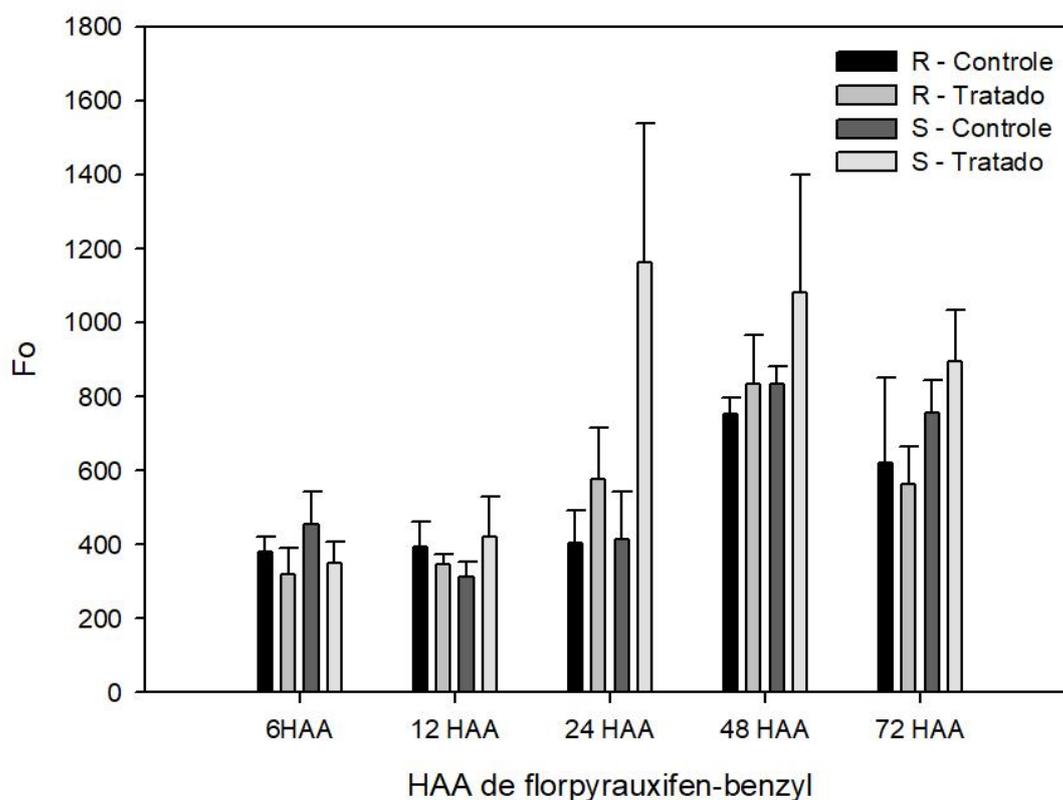
Fonte: Elaborada pela autora (2024).

A eficiência relativa de captura da energia de excitação pelos centros de reação abertos do FS II é expressa através da razão entre as fluorescências variável e máxima (Fv/Fm), ou seja, a eficiência quântica do transporte de elétrons por meio do FS II

(KRAUSE; WEIS, 1991; HAEHNEL et al.,1982). De modo geral, em plantas não submetidas a estresses a razão F_v/F_m pode variar de 0,75 a 0,85 (BOLHAR-NORDENKAMPF et al., 1989).

Já a fluorescência mínima ou fluorescência inicial (F_o) para o biótipo S de *S. montevidensis* que recebeu aplicação do herbicida floryrauxifen-benzyl teve elevação a partir das 24 HAA, quando comparado com o biótipo R de *S. montevidensis* que também recebeu aplicação do herbicida (Figura 6).

Figura 6 – Fluorescência mínima as 6, 12, 24, 48 e 72 HAA de floryrauxifen-benzyl para os biótipos R e S de *S. montevidensis*.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

De maneira geral, o aumento da F_o ocorre quando a transferência da energia de excitação da antena para os centros de reação está prejudicada, ou os centros de reação do fotossistema II estão comprometidos (BAKER; ROSENQVIST, 2004). Ou seja, a elevação do F_o indica que a energia luminosa que seria destinada para etapa fotoquímica da fotossíntese, está sendo dissipada em forma de fluorescência.

Apesar de apresentarem diferenças entre os biótipos R e S ao comparar as variáveis relacionadas a fluorescência da clorofila *a* e quanto ao rendimento quântico

máximo do fotossistema II, até as 72 HAA esses valores são pouco significativos, e isto se explica devido ao fato do herbicida floryrauxifen-benzyl não atuar diretamente na fase fotoquímica da fotossíntese, ou seja, não prejudicar diretamente o transporte de elétrons. Se tratando de um herbicida mimetizador de auxina, o floryrauxifen-benzyl atua nas primeiras fases do processo de desregulação do crescimento, fazendo com que ocorra a formação de etileno e o acúmulo de ácido absísico (ABA), que causa fechamento estomático, limitando a transpiração e a assimilação de carbono, causando uma superprodução de espécies reativas de oxigênio (ROS) (GROSSMANN, 2010).

Desta forma, entende-se que o herbicida floryrauxifen-benzyl atua desestabilizando as variáveis relacionadas as trocas gasosas, devido ao fechamento estomático, sendo necessário alguns dias para este herbicida afetar de fato a fase fotoquímica da fotossíntese em plantas sensíveis.

Os resultados obtidos ao analisar as variáveis relacionadas a fluorescência da clorofila *a* e o rendimento quântico máximo do fotossistema II, reforçam a ideia de que plantas resistentes de *S. montevidensis* não tem percepção do sinal de auxina pois não apresentaram alterações quando tratadas com o herbicida floryrauxifen-benzyl em todas as avaliações, seguindo o padrão da testemunha sem aplicação.

5 CONCLUSÃO

O biótipo de *Sagittaria montevidensis* de Viamão – RS é resistente ao herbicida florpyrauxifen-benzyl, o nível de resistência é alto, a dose recomenda em bula atingiu controle menor que 21% e a resistência se manteve em duas gerações.

O biótipo resistente ao florpyrauxifen-benzyl não apresentou resistência aos herbicidas auxínicos, dicamba, 2,4-D e triclopyr.

Os herbicidas saflufenacil, bentazon e carfentrazone demonstraram ser boas alternativas para o controle de *S. montevidensis*, apresentando controle satisfatório, ou seja, superior a 90% para todos os tratamentos testados. Já o herbicida imazethapyr + imazapic não teve efetividade no controle dos biótipos R e S de *S. montevidensis*.

A aplicação do herbicida florpyrauxifen-benzyl em plantas sensíveis acarreta redução da taxa fotossintética, além de desencadear aumento das variáveis relacionadas a fluorescência da clorofila *a* e redução no rendimento quântico máximo do fotossistema II. Em contrapartida, o biótipo R de *S. montevidensis* que recebeu aplicação do herbicida florpyrauxifen-benzyl teve o comportamento semelhante ao da testemunha sem aplicação, demonstrando que a resistência e/ou a aplicação do herbicida em plantas resistentes não afetam a fotossíntese.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEGAS, F.S. et al. Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas. Embrapa soja. **Circular Técnica**, 132. 2017. 11 p.

BRASIL. Ato Nº 42, de 19 de junho de 2019. Brasília: **DOU** Diário Oficial da União. Publicado no D.O.U de 24 de junho de 2019.

BAKER, N.R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**. v. 55, p. 1607-1621, 2004.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R., et al. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**. n.3, p.497-514, 1989.

CARVALHO, L. B. de. **Plantas Daninhas**. Editado pelo autor, Lages, SC, 2013. 82 p.

CASSOL, B.; AGOSTINETTO, D.; MARIATH, J. E. A. Análise morfológica de *Sagittaria montevidensis* desenvolvida em diferentes condições de inundação. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 487-496, 2008.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, 2024. Brasília: CONAB. (9º Levantamento da Safra 2023/24).

FIORILLO, C. M. T. Controle biológico de *Sagittaria montevidensis* com *Cylindrocarpon sp.* 2007. 78 f. **Tese** (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2007.

GAINES, T. A. The quick and the dead: a new model for the essential role of ABA accumulation in synthetic auxin herbicide mode of action. **Journal of Experimental Botany**. v. 71, n. 12, p. 3383-3385, 2020.

GAZZIERO D. L. P., et al. Resistance of the weed wild poinsettia to ALS inhibitor herbicides. **Planta Daninha**. v. 16, n. 2, p 117-125, 1998.

GHANIZADEH, H., et al. A novel mutation in IAA16 is associated with dicamba resistance in *Chenopodium album*. **Pest Manag Sci**. v. 80, p. 3675-3683, 2024.

GLEASON C.; FOLEY R.C.; SINGH K. B. Mutant Analysis in Arabidopsis Provides Insight into the Molecular Mode of Action of the Auxinic Herbicide Dicamba. **PLoS ONE**. v. 6, n. 3, 2011.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, v. 66, p. 113-120, 2010.

GUTZ, T., et al. Resposta do arroz irrigado ao fornecimento de fósforo e densidade de semeadura em sistema pré-germinado. **Revista Brasileira De Ciências Agrárias**. v. 14, n. 3, p. 1-7, 2019.

HAEHNEL, W., et al. Picosecond fluorescence kinetics and transfer in chloroplast and algae. **Biochemistry and Biophysical Acta**. n. 1, p. 161-173, 1982.

HEAP, I. **The International Herbicide-Resistant Weed Database**, 2024. Disponível em: www.weedscience.org

HANSEN, H.; GROSSMANN K. Auxin-Induced Ethylene Triggers Abscisic Acid Biosynthesis and Growth Inhibition. **Plant Physiology**. v. 124, n. 3, p. 1437–1448, 2000.

HWANG J-I. et al. Non-target-site resistance mechanism of barnyardgrass [*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.] to florpyrauxifen-benzyl. **Pest Manag Sci**. v. 78 p. 287-295, 2021.

JIN W. et al. Comparative Transcriptome Analysis of the Differential Effects of Florpyrauxifen-Benzyl Treatment on Phytohormone Transduction between Florpyrauxifen-Benzyl-Resistant and -Susceptible Barnyard Grasses (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv). **Agronomy**. v. 12, n. 3, p 702, 2023.

KUVA M.A. et al. Experimentos de eficiência e praticabilidade agrônômica com herbicidas. In: MONQUERO, P.A. **Experimentação com herbicidas**. p 75-98, 2016.

KRAUSE, G. H.; WEISS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**. n. 42, p. 313-359, 1991.

KRAFT, M. et al. Indole-3-acetic acid and auxin herbicides up-regulate 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase gene expression and abscisic acid accumulation in cleavers (*Galium aparine*): interaction with ethylene. **Journal of Experimental Botany**. v. 58, n. 6, p. 1497-1503, 2007.

KISSMANN, K. G. **Plantas infestantes e nocivas**. 2. ed. São Paulo: BASF, 1997.

LECLERE S. et al. Cross-resistance to dicamba, 2,4-D, and fluroxypyr in *Kochia scoparia* is endowed by a mutation in an AUX/IAA gene. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**. v. 115, n. 13, p. 2911-2920, 2018.

LORENZI, H. **Plantas Daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 4. ed. Nova Odessa: Plantarum, 2008.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas**. 7. ed. Nova Odessa: Plantarum, 2014.

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; GUIMARÃES, T. G. **Herbicidas: mecanismos de ação e usos**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008.

MARKUS, C. et al. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. In: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. (org.). **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021.

MATIAS, L. Q.; PESTANA, M. C. A. Alismataceae in **Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB4275>. Acesso em: 05 set. 2024.

MCCAULEY, C. L. et al. Transcriptomics in *Erigeron canadensis* reveals rapid photosynthetic and hormonal responses to auxin-herbicide application. **Journal of Experimental Botany**. v. 71, n. 12, p. 3701-3709, 2020.

MENENDEZ, J.; ROJANO-DELGADO, M. A.; DE PRADO R. Differences in herbicide uptake, translocation, and distribution as sources of herbicide resistance in weeds. **American Chemical Society Symposium Series**. v. 1171, n. 7, p. 141-157, 2014.

MEROTTO JUNIOR, A.; et al. Isolamento do gene ALS e investigação do mecanismo de resistência a herbicidas em *Sagittaria montevidensis*. **Ciência Rural**, v.40, 2010.

MILLER, M.R.; et al. Evaluation of floraspyrauxifen-benzyl on herbicide-resistant and herbicide-susceptible Barnyardgrass Accessions. **Weed Technology**, 2017.

MILLER, M. R.; NORSWORTHY, J. K. Influence of soil moisture on absorption, translocation, and metabolism of floraspyrauxifen-benzyl. **Weed Science**, v. 66, n. 4, p. 418-423, 2018.

MOURA D. S. et al. Multiple resistance of *Sagittaria montevidensis* biotypes to acetolactate synthase and photosystem II inhibiting herbicides. **Planta Daninha**. v. 33, n. 4, p. 779-786, 2015.

NOLDIN, J. A. et al. Frequência de plantas de *Sagittaria montevidensis* resistentes ao herbicida Only. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DAS PLANTAS DANINHAS**, 24., 2004, São Pedro. Resumos... Londrina: SBCPD, 2004. p. 480.

OLIVEIRA JUNIOR, R. S. de. Mecanismos de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S. de; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (ed.). **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba: Omnipax Editora Ltda, 2011. p. 348.

PRESTON C. et al. Inheritance of Resistance to The Auxinic Herbicide Dicamba in *Kochia (Kochia scoparia)*. **Weed Science**. v. 57, n. 1, p. 43-47, 2009.

PRESTON, C.; MALONE, J. M. Inheritance of resistance to 2,4-D and chlorsulfuron in a multiple-resistant population of *Sisymbrium orientale*. **Pest Management Science**. v. 71, n. 11, p. 1523-1528, 2014.

PITOL, A. **Sagittaria montevidensis: superação de dormência, valor adaptativo e habilidade competitiva em convivência com arroz irrigado**. 2019. p. 68. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

RAMOS, T. J. F. Sistema de cultivo de arroz irrigado pré-germinado: uma técnica de agricultura inovadora na busca de vantagens competitivas. In: V Simpósio de Engenharia de Produção – SIMEP, 2017, Joinville. **Anais...** Joinville – SC: DESC/UNIVILLE, 2017. p. 3356-3366.

REY-CABALLERO, J. et al. Estudio de mecanismos de resistencia “nontarget-site” en biotipos de *Papaver rhoeas* L. Con resistencia múltiple. In: **XV Congreso de la Sociedad Española de Malherbología**. Sevilla, 2015.

ROMAN, E. S. et al. **Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação**. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 2005.

SABBA, R. P. et al. Inheritance of Resistance to Clopyralid and Picloram in Yellow Starthistle (*Centaurea solstitialis* L.) Is Controlled by a Single Nuclear Recessive Gene. **Journal of Heredity**. v. 94, n. 6, p. 523-527, 2003.

Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD). 10 Passos para relatos de novos casos de resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil. Londrina-PR: **HRAC**, 2018.

SANTOS, A. B. **Cultivo do arroz: sistemas de cultivo**. 2021. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo>. Acesso em: 05 jun. 2024.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. Estatística de Produção de Arroz in **Embrapa**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/socioeconomia/estatistica-de-producao>. Acesso em: 20 jun. 2024.

SOSBAI (Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado). **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Bento Gonçalves, 192 p., 2014.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira. 4 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2019.

TAIZ, L.; et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TORRA, J. et al. Metabolismo mediado por citocromo P450 em biotipos de *Papaver rhoeas* resistentes a auxinas sintéticas. In: **XVI Congreso de la Sociedad Española de Malherbología**. Pamplona-Iruña, 2017.

ULGUIM, A. R. et al. Weed phytosociological in irrigated rice under different cultivation systems and crop rotation intensity. **Ciência Rural**, v. 48, n. 11, p. 1-7, 2018.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas**: conceitos, origem e evolução. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 22 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 58). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do58.htm

VIDAL, R. A. et al. Mecanismos de ação dos herbicidas. In: MONQUEIRO, P. A. (org.). **Aspectos da Biologia e Manejo das Plantas Daninhas**. São Carlos: Rima, 2014. p. 430.

WALSH, T. A. et al. Mutations in an Auxin Receptor Homolog AFB5 and in SGT1b Confer Resistance to Synthetic Picolinate Auxins and Not to 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid or Indole-3-Acetic Acid in Arabidopsis. **Plant Physiology**. v. 142, n. 2, p. 542-552, 2006.

WANG, H. et al. The phytotoxicity mechanism of florpyrauxifen-benzyl to *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv and weed control effect. **Pesticide Biochemistry and Physiology**. v. 179, 2021.

WOODWARD, A. W.; BARTEL, B. Auxin: Regulation, Action, and Interaction. **Annals of Botany**. v. 95, n. 5, p. 707-735, 2005.

YANG, X. et al. Exploring quinclorac resistance mechanisms in *Echinochloa crus-gavonis* from China. **Pest Management Science**. v. 77, n. 1, p. 194-201, 2020.