

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO – PPGCS

CAROLINA AYUMI KANEJI ABATT

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E SEGURANÇA AMBIENTAL DO USO DE
DIETHOLATE E CLOMAZONE NO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ARROZ PRÉ-
GERMINADO**

LAGES

2024

CAROLINA AYUMI KANEJI ABATT

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E SEGURANÇA AMBIENTAL DO USO DE
DIETHOLATE E CLOMAZONE NO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ARROZ PRÉ-
GERMINADO**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de mestre em ciência do solo pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, da Universidade do Estado de Santa Catarina – Udesc.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Alves Moreira
Co-orientador: Prof. Dr. Antonio Mendes de Oliveira Neto

LAGES

2024

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

Kaneji Abatt, Carolina Ayumi
DESEMPENHO AGRONÔMICO E SEGURANÇA
AMBIENTAL DO USO DE DIETHOLATE E CLOMÁZONE NO
SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ARROZ PRÉ-GERMINADO /
Carolina Ayumi Kaneji Abatt. -- 2024.
56 p.

Orientador: Marcelo Alves Moreira
Coorientador: Antonio Mendes de Oliveira Neto
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages,
2024.

1. Clomazone. 2. Dietholate. 3. Pesticida. 4. Arroz irrigado.
5. Cromatografia. I. Moreira, Marcelo Alves. II. Oliveira Neto,
Antonio Mendes de . III. Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título.

CAROLINA AYUMI KANEJI ABATT

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E SEGURANÇA AMBIENTAL DO USO DE
DIETHOLATE E CLOMAZONE NO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ARROZ PRÉ-
GERMINADO**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de mestre em ciência do solo pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, da Universidade do Estado de Santa Catarina – Udesc.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Alves Moreira

Co-orientador: Prof. Dr. Antonio Mendes de Oliveira Neto

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Alves Moreira
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membros:

Dr. Thiago Bergler Bitencourt
UFFS/Laranjeiras do Sul-PR

Dra. Gabriela Polmann
Universidade do Estado de Santa Catarina

Lages, 15 de julho de 2024.

Aos amigos e professores da Universidade
do Estado de Santa Catarina, pela
inspiração de sempre!

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador por aceitar e conduzir o meu trabalho de pesquisa.

Aos professores da Universidade do Estado de Santa Catarina – Udesc pelas inspirações, dedicação e ensinamentos.

Aos amigos de laboratório, principalmente a Gabriela Polmann, pelo apoio e auxílio, durante todo o desenvolvimento do projeto.

Aos meus pais, *in memoriam*, Regina e Jorge, que sempre apoiavam minhas decisões, hoje estou aqui graças aos seus esforços. Sou grata aos meus irmãos, Henrique e Vanessa, por serem meu suporte nos dias difíceis que a vida nos proporcionou. Agradecer a tia, Natsuko Moriya, pelo apoio nas horas mais importante, com seus ensinamentos. Agradeço meu esposo Matheus pelo apoio que sempre me deu durante toda a caminhada dos estudos. Por fim, agradecer minha filha Sophia por incentivar a continuar e querer sempre mais.

Como disse Rocky Balboa: "Ninguém baterá tão forte quanto a vida. Porém, não se trata de quão forte pode bater, se trata de quão forte pode ser atingido e continuar seguindo em frente. É assim que a vitória é conquistada."

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador pelo incentivo e pela dedicação do seu escasso tempo ao meu projeto de pesquisa.

RESUMO

O Estado de Santa Catarina se consolidou como segundo maior produtor de arroz do Brasil, atrás apenas do Rio Grande do Sul, o sistema de produção de arroz pré-germinado é característico da região. Os produtores catarinenses dominam bem esta tecnologia de cultivo que tem como objetivo maior controlar plantas daninhas da cultura. Entretanto a utilização de alguns produtos químicos, pode afetar no meio ambiente. O objetivo da pesquisa foi quantificar o protetor de sementes dietholate (Permit Star[®]) e do herbicida clomazone (Gamit 360 CS[®]) na água em lavoura de arroz em sistema pré-germinado, para avaliar os possíveis impactos ecotoxicológicos e agronômicos desta prática. Além disso, em casa de vegetação, quantificou-se o dietholate presente em água após a semeadura. O experimento foi conduzido a campo, na cidade de Turvo – SC, onde foi dividido em quatro tratamentos: 1) tratamento testemunha sem tratamento de sementes e clomazone, 2) sem tratamento de semente com dietholate e com aplicação de clomazone (0,7 L ha⁻¹ de p.c.), 3) com tratamento de semente com dietholate (6 mL kg⁻¹ de semente), aplicação de clomazone (2,0 L ha⁻¹ de p.c.) e com drenagem após a semeadura e 4) com tratamento de semente com dietholate (6 mL kg⁻¹ de semente), aplicação de clomazone (2,0 L ha⁻¹ de p.c.) e sem drenagem após a semeadura (lâmina de água mantida baixa). As amostras de água foram colhidas em 3 períodos: 1° na drenagem pós-semeadura, 2° na drenagem pré-adubação (V4), 3° 10 dias após a adubação. Ademais, foram avaliadas variáveis agronômicas, produtividade, fitointoxicação. As análises da água foram realizadas no Laboratório de Química na UDESC- Lages, por cromatografia gasosa acoplada a um espectômetro de massas. As panículas foram analisadas no Laboratório de Plantas Daninhas e Herbicidas na UDESC-Lages, onde foram contabilizadas a quantidade de grãos cheios e vazios de 10 panículas de cada tratamento. Além de pesadas e avaliadas em sua umidade. Na casa vegetação, o experimento foi com 6 período de coletas de água: 1° coleta pré-semeadura, 2° coleta logo após a semeadura, 3° coleta 1 dia após a semeadura (DAS), 4° coleta 3 DAS, 5° coleta 5 DAS, 6° coleta 10 DAS. O tratamento 3 com dietholate, clomazone e drenagem apresentou melhor controle do capim-arroz e maior produtividade de grãos, porém foi detectada a presença de dietholate na água, apenas na drenagem realizada

logo após a semeadura. Na casa de vegetação, com 10 dias após a semeadura não houve detecção do protetor dietholate na água.

Palavras-chave: Clomazone; Dietholate; Pesticida; Arroz irrigado; Cromatografia.

ABSTRACT

The state of Santa Catarina has consolidated itself as the second largest rice producer in Brazil, behind only Rio Grande do Sul, the pre-germinated rice production system is characteristic of the State of Santa Catarina. Producers in Santa Catarina have a good grasp of this cultivation technology, which aims to control crop weeds. However, the use of some chemical products can affect the environment. The objective of the research was to quantify the seed protectant dietholate (Permit Star®) and the herbicide clomazone (Gamit 360 CS®) in water in rice crops in a pre-germination system, to evaluate the possible ecotoxicological and agronomic impacts of this practice. Furthermore, in a greenhouse, the dietholate present in water after sowing was quantified. The experiment was conducted in the field, in the city of Turvo – SC, where it was divided into four treatments: 1) control treatment without seed treatment and clomazone, 2) without seed treatment with dietholate and with application of clomazone (0.7 L ha⁻¹ of p.c.), 3) with seed treatment with dietholate (6 mL kg⁻¹ of seed), application of clomazone (2.0 L ha⁻¹ of p.c.) and with drainage after sowing and 4) with treatment of seed with dietholate (6 mL kg⁻¹ of seed), application of clomazone (2.0 L ha⁻¹ of p.c.) and without drainage after sowing (water depth kept low). Water samples were collected in 3 periods: 1st in post-sowing drainage, 2nd in pre-fertilization drainage (V4), 3rd 10 days after fertilization. Furthermore, agronomic variables, productivity and phytotoxicity were evaluated. Water analyzes were carried out in the Chemistry Laboratory at UDESC-Lages, using gas chromatography. The panicles were analyzed at the Weeds and Herbicides Laboratory at UDESC-Lages, where the number of full and empty grains of 10 panicles from each treatment were counted. In addition to being weighed and evaluated for humidity. In the greenhouse, the experiment consisted of 6 water collection periods: 1st pre-sowing collection, 2nd collection immediately after sowing, 3rd collection 1 day after sowing (DAS), 4th collection 3 DAS, 5th collects 5 DAS, 6th collects 10 DAS. Treatment 3 with dietholate, clomazone and drainage showed better control of barnyard grass and greater grain productivity, however the presence of dietholate was detected in the water only in the drainage carried out shortly after sowing. In the greenhouse, 10 days after sowing, there was no detection of the protective dietholate in the water.

Keywords: Clomazone; Dietholate; Pesticide; Irrigated rice; Chromatography.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura Molecular do Clomazone.....	22
Figura 2 – Estrutura Molecular do Dietholate.....	24
Figura 3 – Imagem da área de implantação do experimento.....	24
Figura 4 – Sementes pré-germinadas de arroz (<i>Oryza sativa</i>) aptas para a semeadura, com a radícula e o coleóptilo medindo de 2 mm a 3 mm.....	25
Figura 5 – Vista dos tratamentos após a semeadura do arroz pré-germinado, cultivar SCS 121 CL, e aplicação do herbicida Gamit (clomazone). Turvo, SC, 2022/2023.....	26
Figura 6 – Croqui com a distribuição das parcelas a campo, indicando a área total da parcela, área semeada, localização do canal central de irrigação e drenagem e da entrada individualizada de irrigação e drenagem em cada parcela.....	27
Figura 7 – Panícula de arroz.....	27
Figura 8 – Trilhadora, separação dos grãos.....	28
Figura 9 – Medidor de umidade, Gehaka G610i.....	29
Figura 10 – Amostra de água sendo filtrada em papel filtro quantitativo.....	31
Figura 11 – Amostra de água filtrada sendo filtrada pelo filtro de seringa.....	32
Figura 12 – Extração da amostra de água filtrada pelo método SPME, utilizando Agitador Magnético com Aquecimento SL 91.....	33
Figura 13 – Injeção da fibra no cromatógrafo gasoso acoplado a espectrometria de massas, marca PerkinElmer modelo Clarus 680 e Clarus SQ 8 S, respectivamente...33	33
Figura 14 - Fitointoxicação na cultura do arroz irrigado, cultivar SCS 121 CL, nas avaliações de 7 e 14 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA). Turvo-SC, 2022/2023 (p<0,05).....	35
Figura 15 – Vista dos quatros tratamentos antes da colheita dos tratamentos. Turvo, SC, 2022/2023.....	36
Figura 16 - Controle de capim-arroz (<i>Echinochloa crus-galli</i>) aos 7, 14 e 28 DAA e na pré-colheita do arroz. Turvo, SC, 2022/2023 (p<0,05).....	38
Figura 17 - Avaliações dos componentes de rendimento do arroz: grãos por panícula (A), esterilidade de espiguetas (B) e peso médio da panícula (C). Turvo, SC, 2022/2023 (p<0,05).....	39
Figura 18 - Avaliações dos componentes de rendimento e produtividade de arroz em casca: número de panículas por m ² (A), peso de mil sementes (B) e produtividade de grãos (C). Turvo, SC, 2022/2023 (p<0,05).....	39

Figura 19 – Sementes pré-germinada.....	44
Figura 20 – Bandeja, simulando as condições de cultivo de arroz em sistema pré-germinado.....	45
Figura 21 - Quantificação de dietholate (mg L^{-1}) em água de drenagem de arroz irrigado em função da época de coleta. Ensaio de casa de vegetação. Lages, SC, 2023.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantificação de dietholate e clomazone (mg L^{-1}) na água de drenagem coletada após a semeadura, aos 25 e 50 dias após a semeadura (DAS). Turvo, SC, 2022/2023.....	41
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
DAS	Dias após a semeadura
SC	Sistema Convencional
CM	Cultivo Mínimo
PD	Plantio Direto
PG	Pré-Germinado
TM	Transplante de Mudas
V4	Formação do colar da 4ª folha no colmo principal
DDS	Dias depois da semeada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
2	HIPÓTESE	19
3	OBJETIVO	19
4	AVALIAÇÃO AGRONÔMICA E SEGURANÇA AMBIENTAL DA TECNOLOGIA CLOMAZONE E DIETHOLATE PARA O SISTEMA PRÉ- GERMINADO	20
4.1	INTRODUÇÃO.....	20
4.1.1	Clomazone.....	21
4.1.2	Dietholate.....	23
4.2	MATERIAS E MÉTODOS.....	24
4.2.1	Local e delineamento do experimento.....	24
4.2.2	Laboratório.....	29
4.2.2.1	Plantas Daninhas e Herbicida.....	29
4.2.2.2	Química.....	30
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.3.1	Fitointoxicação na cultura do arroz.....	34
4.3.2	Controle de capim-arroz.....	34
4.3.3	Componentes de rendimento e produtividade de grãos.....	38
4.3.4	Dietholate e Clomazone em água.....	40
4.4	CONCLUSÃO.....	42
5	PERSISTÊNCIA DO PROTETOR DIETHOLATE NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO DO ARROZ IRRIGADO EM SISTEMA PRÉ-GERMINADO	43
5.1	INTRODUÇÃO.....	43
5.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
5.2.1	Local e delineamento do experimento.....	44
5.2.2	Laboratório.....	46
5.2.2.1	Química.....	46
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
5.4	CONCLUSÃO.....	49
	REFERÊNCIAS	51
	ANEXOS	55

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa*), é um alimento que possui um alto valor nutricional, altamente energético, rico em proteínas, sais minerais e vitaminas do complexo B (BASSINELLO, 2004). Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação FAO (2004) o arroz é capaz de suprir 20% da energia e 15% da proteína da necessidade diária de um adulto, além de conter vitaminas, sais minerais, fósforo, cálcio e ferro.

Conceituado como um dos cereais mais cultivados e consumidos no mundo, o arroz destaca-se por diversos aspectos: constituído como alimento básico, ocupa o segundo lugar em produção e extensão de área cultivada, tendo, em 2021, uma produção de 787,3 milhões de toneladas de grãos em casca, o que corresponde a aproximadamente 28% do total de grãos usados na alimentação humana de 2,8 bilhões de toneladas. É o segundo cereal mais cultivado no mundo, superado apenas pelo milho (EMBRAPA, 2023).

No Brasil, o cultivo de arroz assumiu uma importância social, econômica e política desde os tempos coloniais, pois era utilizado para a subsistência de colonizadores e escravos. Em 1766, a Coroa Portuguesa autorizou a instalação da primeira descascadora de arroz no País, no Rio de Janeiro, que estava isenta de impostos. Ao ser introduzido na alimentação do exército, favoreceu também seu cultivo em diferentes regiões do Brasil, embora em volumes limitados (NUNES, 2020). Esta cultura apresenta grande capacidade de se adaptar a diferentes condições de solo e clima. Considera-se dois grandes ecossistemas para a cultura, que são o de várzeas e o de terras altas, sendo os principais o irrigado por inundação e o de terras altas (EMBRAPA, 2021).

Segundo a Basf (2024), o Brasil está entre os maiores produtores mundiais de arroz, sendo o maior produtor da América Latina, com uma produção anual na casa dos 10 milhões de toneladas, podendo variar para mais ou para menos, de acordo com as condições climáticas de cada ano, a maior parte é cultivado com um sistema de irrigação, em especial por encharcamento, que é quando uma lâmina de água fica sobre a produção durante a maior parte do ciclo do grão. O arroz irrigado na região subtropical do Brasil é cultivado em cinco sistemas de plantio: sistema convencional (SC), cultivo mínimo (CM),

plantio direto (PD), pré-germinado (PG) e transplante de mudas (TM). Nos sistemas de cultivo mínimo, convencional e de plantio direto, o arroz é semeado em solo seco. Por sua vez, no sistema pré-germinado e no transplante de mudas, a semeadura se dá em solo submerso (PETRINI, 2021).

Santa Catarina se consolida como maior média de produtividade de arroz no Brasil, com 8,48 toneladas por hectare, sendo o segundo maior estado produtor de arroz, apenas atrás do Rio Grande do Sul (PADRÃO, 2022).

No sistema de cultivo de arroz pré germinado, a irrigação é feita pelo método de inundação ou alagamento, ou seja, neste sistema o solo fica alagado durante todo o ciclo da cultura (GARCIA, 2020). O sistema PG apresenta as seguintes vantagens: controle mais eficiente do arroz-daninho (arroz-vermelho e arroz-preto), menor dependência do clima para o preparo do solo e a semeadura, menor consumo de água para irrigação e planejamento mais efetivo das atividades da lavoura (PETRINI, 2021).

Os produtores catarinenses dominam bem esta tecnologia de cultivo que tem como objetivo maior controlar plantas infestantes da cultura (GARCIA, 2020). Um dos problemas decorrentes do uso intensivo das áreas é a proliferação de plantas daninhas. Devido às características do sistema pré-germinado, o controle de plantas daninhas é altamente dependente do uso de herbicidas, os quais são utilizados pela maioria dos produtores (NOLDIN; HERMES; FAY; EBERHARDT; ROSSI, 2001).

O controle das plantas daninhas é essencial para o sucesso da atividade agrícola em áreas de produção de arroz, sendo uma das principais medidas de controle o uso de herbicidas aplicados em pré e pós-emergência das plantas daninhas (SOSBAI, 2016). A utilização de herbicidas pré-emergentes com efeito residual prolongado é um dos fatores que determinam grande eficiência no controle de plantas daninhas durante o período crítico de competição (MONQUERO, 2008). Entre os herbicidas utilizados, está o clomazone, tem sua seletividade às plantas de arroz aumentada quando as sementes recebem o protetor dietholate. Sabendo que o dietholate atua sobre a atividade da enzima citocromo P-450 mono-oxigenase e que esta é responsável pela ativação do clomazone (SANCHOTENE, 2010).

O herbicida clomazone é moderadamente persistente no solo, com meia-vida, em média de 19 dias, em função do tipo de solo, (Kirksey et al., 1996). Porém há relatos que pode reportar vida média de 55 dias, deste herbicida (NOLDIN; HERMES; FAY; EBERHARDT; ROSSI, 2001). A degradação biológica é favorecida sob condições que estimulem uma elevada atividade bacteriana, como temperatura, umidade e matéria orgânica. A degradação do clomazone é mais rápida em condições anaeróbicas (solo inundado) do que em condições aeróbicas.

Em grande parte das lavouras de arroz, a aplicação dos herbicidas é seguida pela inundação da área e, dependendo do manejo de água adotado e da precipitação pluvial, os herbicidas podem persistir por maior tempo no ambiente e ser transportados para fora da área, contaminando os mananciais hídricos (SANTOS, 2008). Os monitoramentos das águas superficiais e subterrâneas, com enfoque em resíduos de agrotóxicos, ainda não abrangem todos os ecossistemas. Os estados RS e SC, possuem uma grande riqueza em mananciais hídricos de água doce, que além de fornecerem água para irrigação das lavouras de arroz, abastecem suas populações (MATTOS et al. 2006).

Enquanto há uma vasta literatura sobre a eficácia dos herbicidas no controle de plantas daninhas e suas características químicas, a investigação específica sobre o dietholate, especialmente no contexto do cultivo de arroz pré-germinado e seus impactos ambientais diretos na qualidade da água, parece ser uma contribuição nova e valiosa para a área.

Até o momento, a maioria dos estudos focou amplamente na eficiência e persistência do herbicida clomazone e em seus impactos gerais, mas a análise detalhada do dietholate, um adjuvante crítico na ativação do clomazone, ainda é incipiente. A pesquisa inovadora que explora como o dietholate se comporta em sistemas de cultivo de arroz e seu potencial impacto ambiental sobre a qualidade da água e ecossistemas aquáticos representa uma fronteira nova e pouco explorada na literatura científica.

O dietholate, ao ser utilizado em combinação com o clomazone, pode ter implicações ambientais significativas, especialmente no que diz respeito à sua persistência no solo e transporte para mananciais hídricos. A presença prolongada deste composto e sua interação com o clomazone podem afetar a

qualidade da água, influenciar a saúde de ecossistemas aquáticos e potencialmente comprometer a potabilidade da água para consumo humano. Portanto, a análise química detalhada e a investigação dos impactos ambientais do dietholate são não apenas inéditas, mas também cruciais para a compreensão completa dos efeitos de produtos químicos utilizados na agricultura.

Essa nova linha de pesquisa tem o potencial de preencher lacunas significativas no conhecimento sobre o comportamento ambiental do dietholate, oferecendo informações essenciais para o manejo sustentável e a proteção dos recursos hídricos. Assim, esta análise não só contribui para a base de conhecimento existente, mas também pode influenciar práticas agrícolas e políticas de regulação de produtos químicos, promovendo um ambiente mais seguro e sustentável.

Dada a importância e a potencial novidade desta linha de pesquisa, instituições como a FMC, EPAGRI e CAPES estão particularmente interessadas em fomentar e apoiar a realização de análises químicas detalhadas do dietholate. Estas análises não apenas contribuirão para a base de conhecimento existente, mas também influenciarão práticas agrícolas e políticas de regulação de produtos químicos, promovendo um ambiente mais seguro e sustentável. Assim, a análise do dietholate representa uma inovação importante, crucial para a compreensão e manejo adequado dos impactos ambientais dos herbicidas utilizados na agricultura.

2 HIPÓTESE

A utilização conjunta dos pesticidas Dietholate (Permit) e Clomazone (Gamit) no sistema de produção de arroz pré-germinado tem como principal vantagem a sua capacidade de prolongar a ação em ambientes inundados. A persistência dos princípios ativos desses pesticidas na água se propaga para a rede hídrica do local.

O prolongamento da ação permite um controle mais eficaz das espécies indesejadas, proporcionando condições mais favoráveis ao desenvolvimento do arroz, resultando em uma maior produtividade.

3 OBJETIVO

Quantificação do protetor Dietholate e do herbicida Clomazone na água de drenagem de lavouras de arroz em sistema pré-germinado, para avaliar os possíveis impactos ecotoxicológicos e agronômicos dessa prática.

Quantificar, em casa de vegetação, a persistência do protetor de dietholate em água em diferentes dias após a semeadura.

4 AVALIAÇÃO AGRONÔMICA E SEGURANÇA AMBIENTAL DA TECNOLOGIA CLOMAZONE E DIETHOLATE PARA O SISTEMA PRÉ-GERMINADO

4.1 INTRODUÇÃO

Os solos cultivados com arroz irrigado na Região Subtropical do Brasil, especificamente nos Estados do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC) são encontrados, principalmente, nos ecossistemas de várzeas formados por planícies de rios, lagoas e lagunas, apresentando uma característica comum: a formação em condições variadas de deficiência de drenagem (MAGALHÃES JÚNIOR, 2004).

O cultivo no estado de Santa Catarina, caracteriza-se pela presença de pequenas propriedades e pelo sistema de plantio com sementes pré-germinadas, que apresenta as seguintes vantagens: permite o preparo do solo e a semeadura mesmo em dias chuvosos; controle do arroz vermelho; menor requerimento de herbicidas devido ao melhor controle das plantas daninhas; e maior eficiência no uso de máquinas (EMBRAPA, 2021).

O sistema pré-germinado, consiste na semeadura a lanço de sementes pré-germinadas sobre uma lâmina de água previamente instalada. Em virtude de proporcionar melhor controle de plantas daninhas do que o sistema tradicional de plantio (semeadura em solo seco e irrigação posterior), a presença da lâmina de água quase constante durante o ciclo é responsável pelo controle de plantas daninhas, principalmente do arroz-vermelho (*Oryza sativa L.*), cuja população tende a aumentar a cada safra nas lavouras, devido ao cultivo do arroz ano após ano nas mesmas áreas, diminuindo o espaço físico das plantas de arroz e interferindo na disponibilidade dos nutrientes e, conseqüentemente, reduzindo a produtividade de grãos (LAURETTI et al.,2001).

Há relatado que a presença de uma lâmina de água durante o ciclo da cultura é capaz de controlar misturas varietais e o arroz-vermelho, e ser, ao mesmo tempo, mais eficiente e econômico para a cultura do arroz irrigado (Ishiy & Noldin, 1997).

Segundo a Embrapa (2021), a pré-germinação das sementes consiste em acelerar o processo natural de germinação, na ausência de solo, de tal maneira que, por ocasião da sementeira, a semente já apresente a radícula e o coleóptilo claramente desenvolvidos.

O sistema pré-germinado tem se mostrado adaptado às condições catarinenses de cultivo, visto que tem sido utilizado nas mesmas áreas por mais de 100 anos, na forma de monocultura e com aumento de produtividade, não perdendo espaço para outros sistemas de cultivo (VALE, 2022).

Apesar da utilização de herbicidas nas diversas regiões orizícolas do mundo, a eficiência do controle está na dependência, dentre outros, de fatores relacionados com o produto químico (SANTOS, 2000). Entretanto, a utilização de alguns produtos químicos pode afetar no meio ambiente.

Conforme o Conama (1986), qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia, resultante das ações antrópicas que, direta ou indiretamente, afetem: (1) a saúde, a segurança, o bem estar e as atividades socioeconômicas da população; (2) a biota (constituído pelo conjunto de animais e vegetais de uma dada região) e (3) as condições estéticas e sanitárias de meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais, isto é, conceito básico de impacto ambiental.

O uso de agrotóxicos pode, em determinadas situações, principalmente quando utilizados de forma inadequada, ou seja, não respeitando as recomendações constantes no rótulo do produto e as condições ambientais, provocar impactos ambientais negativos no ecossistema (MATTOS et al. 2006).

O controle das plantas daninhas é essencial para o sucesso da atividade agrícola em áreas de produção de arroz, sendo uma das principais medidas de controle o uso de herbicidas aplicados em pré e pós-emergência das plantas daninhas (SOSBAI, 2016). Entre os herbicidas utilizados, está o clomazone, tem sua seletividade às plantas de arroz aumentada quando as sementes recebem o protetor dietholate. Sabendo que o dietholate atua sobre a atividade da enzima citocromo P-450 mono-oxigenase e que esta é responsável pela ativação do clomazone (SANCHOTENE, 2010).

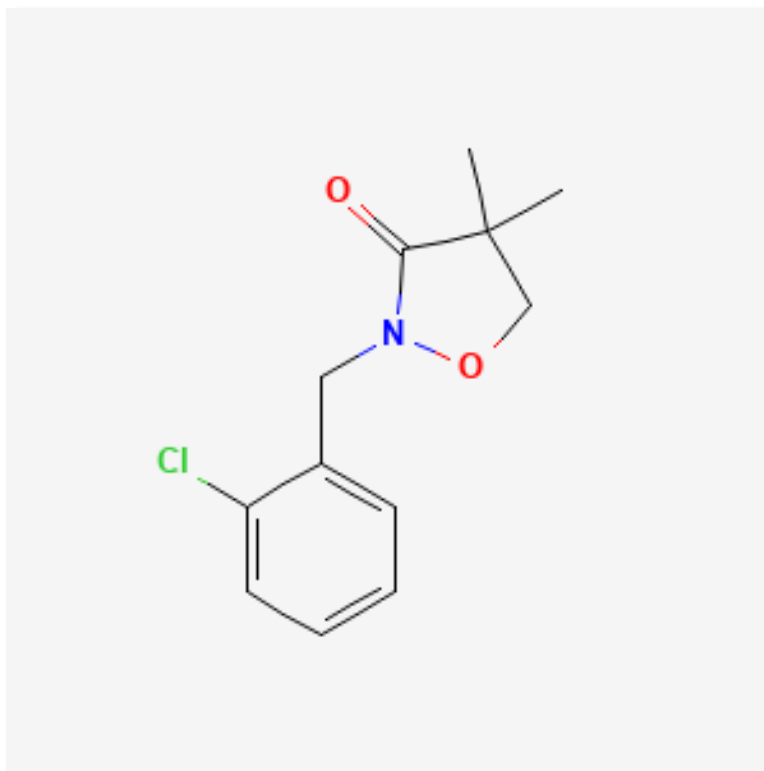
4.1.1 Clomazone

O Clomazone (2-(2-clorobenzil)-4,4-dimetil-1,2-oxazolidin-3-ona – Figura 1) é um herbicida pós-emergente amplamente usado, em sistemas de arroz irrigado no Sul do Brasil, para controlar a gramínea *Echinochloa crusgali*, entre outras. A dose recomendada deste composto sob a forma de concentrado emulsionável é de 700 g/ha. Importante via de contaminação do ecossistema aquático por este herbicida pode ocorrer pela drenagem de água da área de aplicação para a região de entorno (EMBRAPA, 1998).

O princípio ativo Clomazone está classificado no nível II de risco ambiental e toxicológico, é considerado não corrosivo, não inflamável, solúvel em água e altamente tóxico (CRUZ, 2020). Sua solubilidade em água é de 1.100 mg L⁻¹, considerada extremamente solúvel (FREITAS et al. 2017), podendo chegar facilmente as águas de profundidade, como o lençol freático (MATTOS et al. 2006). Em águas superficiais a meia vida do Clomazone, pode variar entre 84 e 120 dias, podendo afetar novas culturas bem como causar danos a organismos não alvo como peixes (ZANELLA et al. 2002).

Conhecido comercialmente como Gamit, é um herbicida pré-emergente e pós-emergente utilizado para controle de plantas invasoras (LINK, 2023). A aplicação do herbicida é realizada pelo método conhecido como benzedura, onde os produtos são aplicados diretamente na lâmina de água (EPAGRI, 1998). A alta solubilidade do Clomazone, aumenta seu potencial de contaminação das águas superficiais e, provavelmente, subterrâneas (PRIMEL, 2005; QUAYLE et al., 2006). De acordo com o Departamento de Regulação de Pesticidas da Califórnia (CDPR, 2003), o clomazone é degradado mais rapidamente em condições anaeróbias.

Figura 1 – Estrutura Molecular do Clomazone.



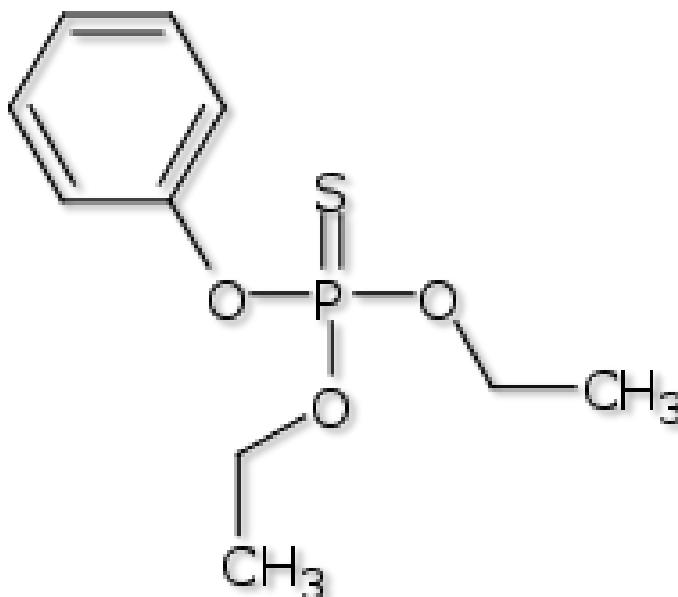
Fonte: PubChem, 2024.

4.1.2 Dietholate

O Dietholate (O,O-dietil-O-fenil-fosforotiato – Figura 2), conhecido comercialmente como Permit, é um protetor de sementes, aplicado em sementes antes da semeadura, para a proteção contra a ação fitotóxica do herbicida clomazone (LINK, 2023; PERMIT-STAR, 2023), pois inibe a enzima citocromo P-450 mono-oxigenase, responsável pela ativação do clomazone (Ferhatoglu et al., 2005). A enzima citocromo P-450 mono-oxigenase possui nas plantas a função de detoxificação, mas, no caso do clomazone, é a responsável pela sua oxidação, tornando-o tóxico às plantas que possuem maior capacidade de oxidação (Ferhatoglu et al., 2005; Yun et al., 2005). Com a inibição dessa enzima, não há transformação do clomazone, não havendo assim formação do herbicida ativo e, conseqüentemente, dano à planta (SANCHOTENE; KRUSE; AVILA; MACHADO; NICOLODI; DORNELLES, 2010).

Seu princípio ativo está classificado no nível III de risco ambiental e toxicológico, pertencente ao grupo químico dos organofosforado, outras substâncias inibidoras da acetilcolinesterase (organofosforados ou carbamatos) podem potencializar os efeitos tóxicos (MAPA, 2020).

Figura 2 – Estrutura Molecular Dietholate.



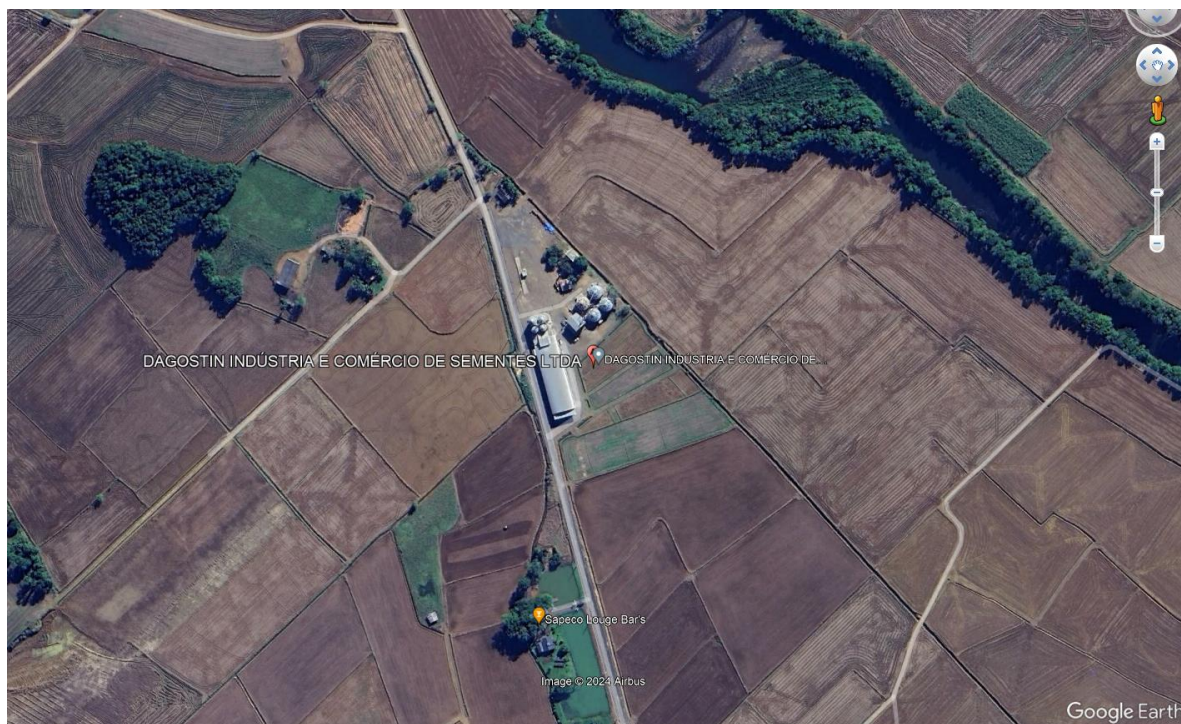
Fonte: PubChem, 2024.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 Local e delineamento do experimento

O experimento foi conduzido a campo, na cidade de Turvo-SC, com coordenadas 28°54'08.39"S 49°44'43.10"O (Figura 3). Foi utilizado sementes pré-germinadas (Figura 4) da cultivar SCS 121 CL e semeadas manualmente. O experimento foi implantado (semeado) no dia 12/10/2022 (Figura 5) e a colheita foi realizada no dia 04/03/2023.

Figura 3 – Imagem da área de implantação do experimento.



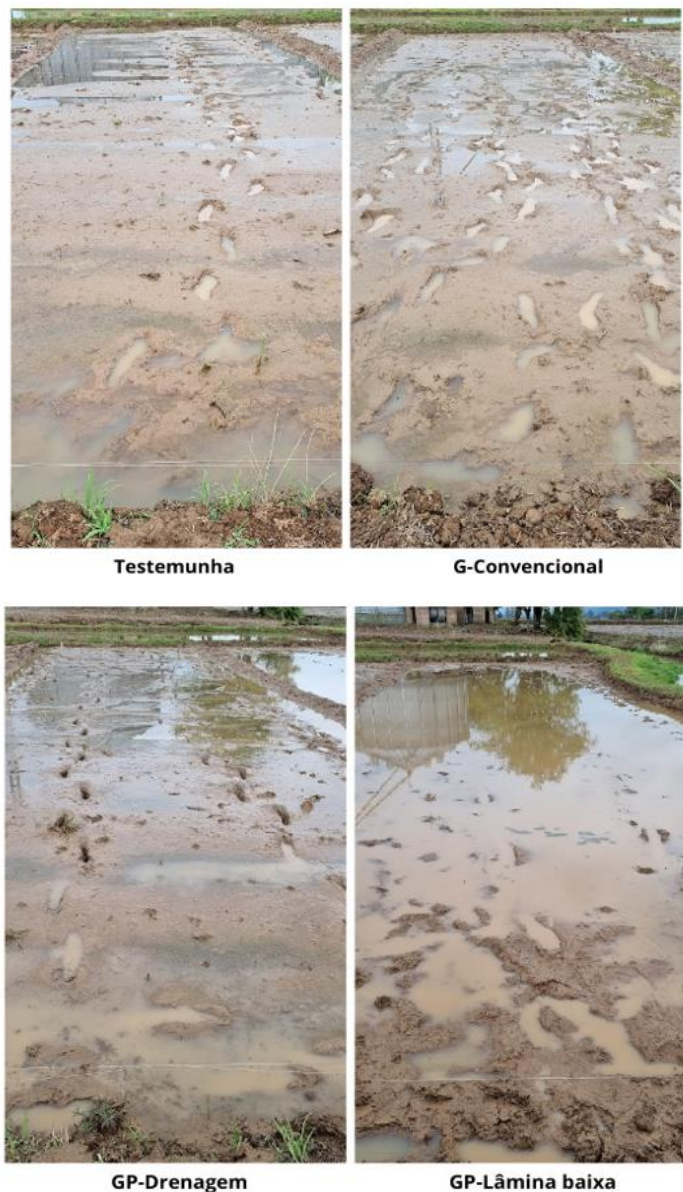
Fonte: Google Earth® , 2024.

Figura 4 - Sementes pré-germinadas de arroz (*Oryza sativa*) aptas para a semeadura, com a radícula e o coleótilo medindo de 2 mm a 3 mm.



Fonte: Alberto Baêta dos Santos, 2021.

Figura 5 – Vista dos tratamentos após a semeadura do arroz pré-germinado, cultivar SCS 121 CL, e aplicação do herbicida Gamit (clomazone). Turvo, SC, 2022/2023.

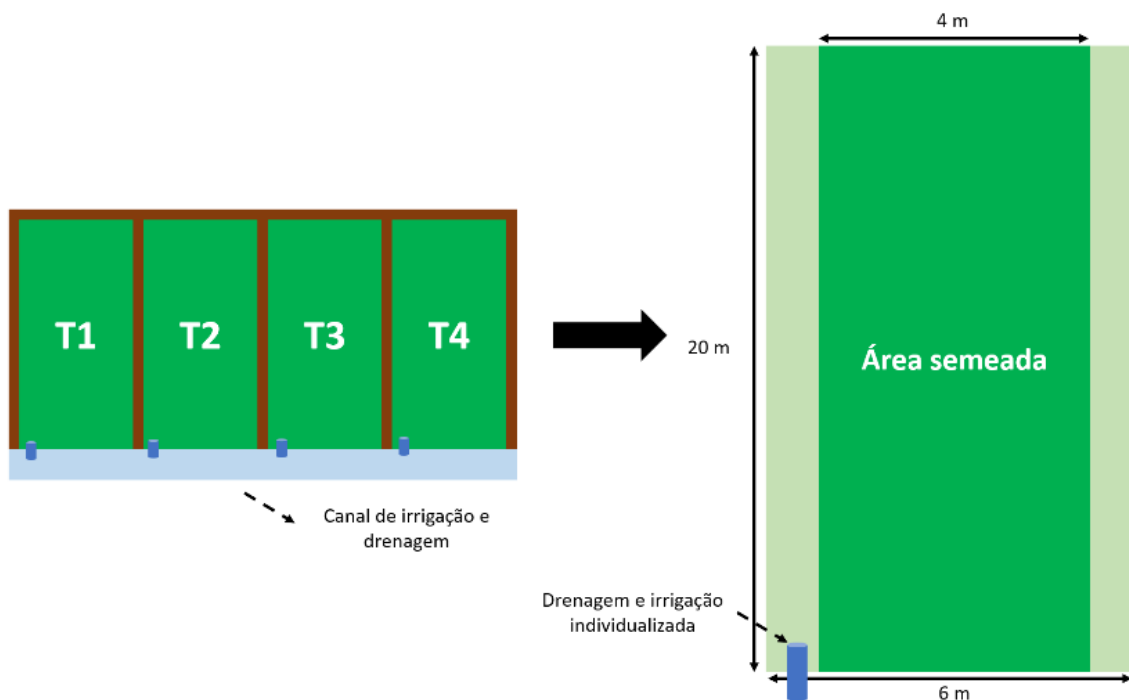


Fonte: Oliveira Neto, 2022.

O delineamento do experimento foi realizado em quatro tratamentos: 1) tratamento testemunha sem tratamento de sementes e clomazone, 2) sem tratamento de semente com dietholate e com aplicação de clomazone ($0,7 \text{ L ha}^{-1}$ de p.c.), 3) com tratamento de semente com dietholate (6 mL kg^{-1} de semente), aplicação de clomazone ($2,0 \text{ L ha}^{-1}$ de p.c.) e com drenagem após a semeadura e 4) com tratamento de semente com dietholate (6 mL kg^{-1} de semente),

aplicação de clomazone ($2,0 \text{ L ha}^{-1}$ de p.c.) e sem drenagem após a semeadura (lâmina de água mantida baixa) (Figura 6).

Figura 6 – Croqui com a distribuição das parcelas a campo, indicando a área total da parcela, área semeada, localização do canal central de irrigação e drenagem e da entrada individualizada de irrigação e drenagem em cada parcela.



Fonte: Oliveira Neto, 2023.

As coletas de amostras de água ocorreram em 3 períodos em triplicatas: 1° na drenagem pós-semeadura, 2° na drenagem pré-adubação (V4) de 20-25 DAS, 3° 10 dias após a adubação.

Fitointoxicação e controle aos 7, 14, 28 dias após a aplicação dos tratamentos e na pré-colheita, onde 0% = planta sem sintoma visual e 100% planta morta, totalmente necrosada. Essas avaliações foram visuais.

Figura 7 – Panícula de arroz.



Fonte: Sebastião Araújo, 2021.

Na Udesc, as plantas passaram pela trilhadora (Figura 8), para a separação dos grãos. Então, para prosseguir as avaliações nos laboratórios.

Figura 8 – Trilhadora, separação dos grãos.



Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

4.2.2 Laboratório

4.2.2.1 Plantas Daninhas e Herbicidas

No laboratório de Plantas Daninhas e Herbicidas foram realizadas as análises dos grãos e produtividade. As variáveis agronômicas foram avaliadas em quatro repetições. Em cada repetição foram colhidas 10 panículas (Figura 7) para as avaliações de componentes: grãos por panícula, esterilidade e peso da panícula, análises realizadas em processo manual, posteriormente serem contabilizada e analisadas no método estatístico do SigmaPlot. O número de panícula por m^2 foi determinado pela contagem das panículas em uma área de $0,25 m^2$ (em cada repetição).

A produtividade foi determinada a partir da colheita de uma área de $1 m^2$ por repetição. PMS a partir da contagem de 8 amostras de 100 sementes, calculou-se o PMS a partir do valor médio das amostras.

Os grãos que foram separados na trilhadora, foram pesados e passado na máquina de medidor de umidade, marca Gehaka modelo G610i (Figura 9).

Figura 9 – Medidor de umidade, Gehaka G610i.



Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

4.2.2.2 Química

No laboratório de química, foram analisadas as amostras de água coletadas. As amostras ficaram no congelador, desde a coleta até serem analisadas, em uma temperatura de -18°C a -20°C .

Instrumentação

As análises foram realizadas em um sistema GC- MS (Perkin Elmer) que consiste em um cromatógrafo gasoso (modelo Clarus[®] 680 GC, Waltham, USA) acoplado a um espectrômetro de massas (modelo Clarus[®] SQ 85, Waltham, USA). Utilizou-se uma coluna capilar Elite 5-MS de 30 m x 0,25 mm d. i. e 0,25 mm de espessura (Perkin Elmer). O método utilizado foi adaptado de Zanella *et al.* (2008) e Đurović *et al.* (2008). O GC foi programado da seguinte forma: a temperatura inicial foi de 45°C por 1,5 min, depois aumentou a 260°C a 10°C

min⁻¹. O hélio foi usado como gás de arraste e seu fluxo a taxa foi de 1,0 ml min⁻¹. Injeção ocorreu em modo splitless com fibra SPME 50/30 um (DVB/CAR/PDMS Stablefex, 2 cm, Supelco) exposta por 7 min no injetor a 270 °C. O espectrômetro de massa com armadilha de íons foi operado no impacto de elétrons utilizando modo SCAN (33 a 400 m/z) com 5 min de solvente delay. As temperaturas da linha de transferência foram ajustadas para 220 °C e 250 °C, respectivamente. A preparação do padrão do Clomazone (Clomazone PESTANAL[®], analytical standard, Supelco), Número CAS: 81777-89-1, utilizou metanol para a concentração padrão 1g L⁻¹. A partir deste, utilizou metanol para a preparação da curva com concentrações 0,0; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 5,0 mg L⁻¹. A preparação do padrão do Dietholate (ethyl phenyl ethoxy(sulfanylidene)phosphonite, Key Organic), Número CAS: 32345-29-2, utilizou metanol para a concentração padrão 200mg L⁻¹. A partir deste, utilizou água ultrapura (MilliPore - MilliQ) para a preparação da curva com concentrações 0,0; 1,0; 3,0; 5,0; 7,0 mg L⁻¹.

Preparação da amostra e amostragem

A preparação e amostragem ocorreu conforme Đurović *et al.* (2008) com modificações. As amostras de água filtradas em papel filtro quantitativo (12,5 cm, Unifil) (Figura 10), posteriormente passando em um filtro de seringa (Chromafil Xtra PTFE-45/25) (Figura 11).

Figura 10 – Amostra de água sendo filtrada em papel filtro quantitativo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

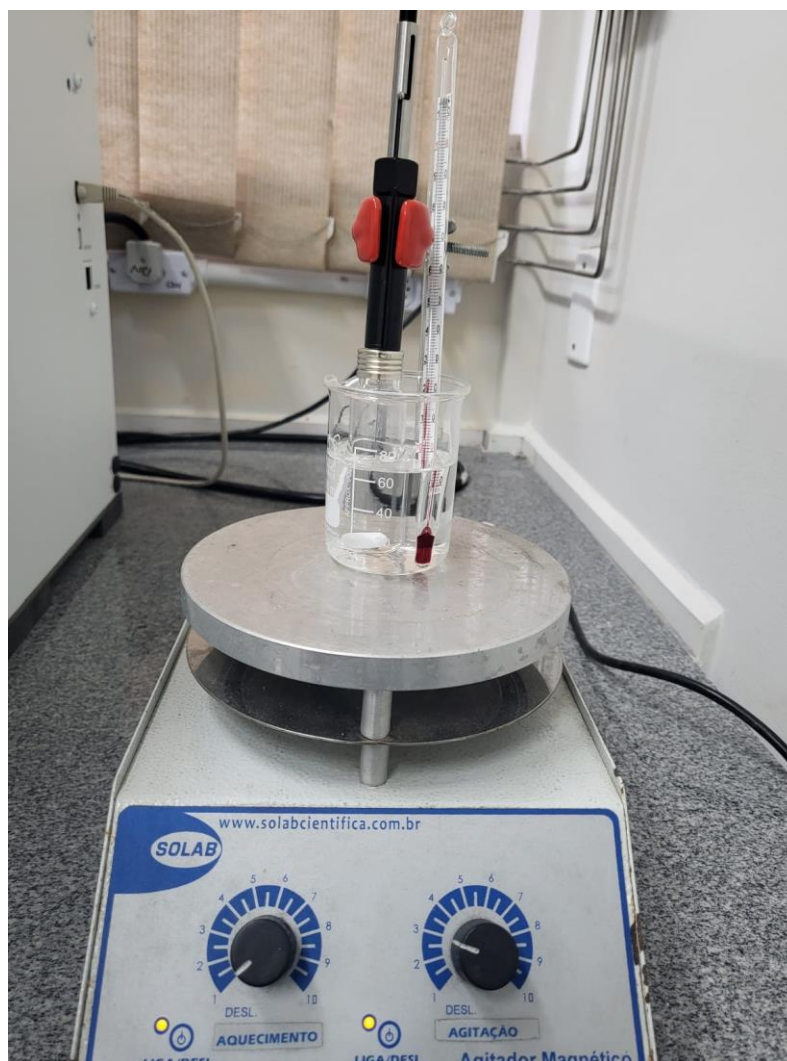
Figura 11 – Amostra de água filtrada sendo filtrada pelo filtro de seringa.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Então foram adicionadas 10 mL em vials de 20 mL. A extração ocorreu em temperatura ambiente (25°C) sob agitação magnética de 2,5 rpm (Figura 12). A fibra SPME 50/30 um (DVB/CAR/PDMS Stablefex, 2 cm, Supelco) foi exposta imergindo na amostra durante 50 min. Após o período de amostragem a fibra foi levada para injeção no cromatógrafo gasoso (Figura 13).

Figura 12 – Extração da amostra de água filtrada pelo método SPME, utilizando Agitador Magnético com Aquecimento SL 91.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Figura 13 – Injeção da fibra no cromatógrafo gasoso acoplado a espectrometria de massas, marca PerkinElmer modelo Clarus 680 e Clarus SQ 8 S, respectivamente.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

O método de análise do Clomazone (Gamit 360 CS) e Dietholate (Permit Star) foram os mesmos, porém o tempo de detecção foram distintos. O tempo de detecção do Clomazone foi de 16,92 com hit (íons mais estáveis) 125 e 204 e do Dietholate foi de 14,88 com hit 94 e 110.

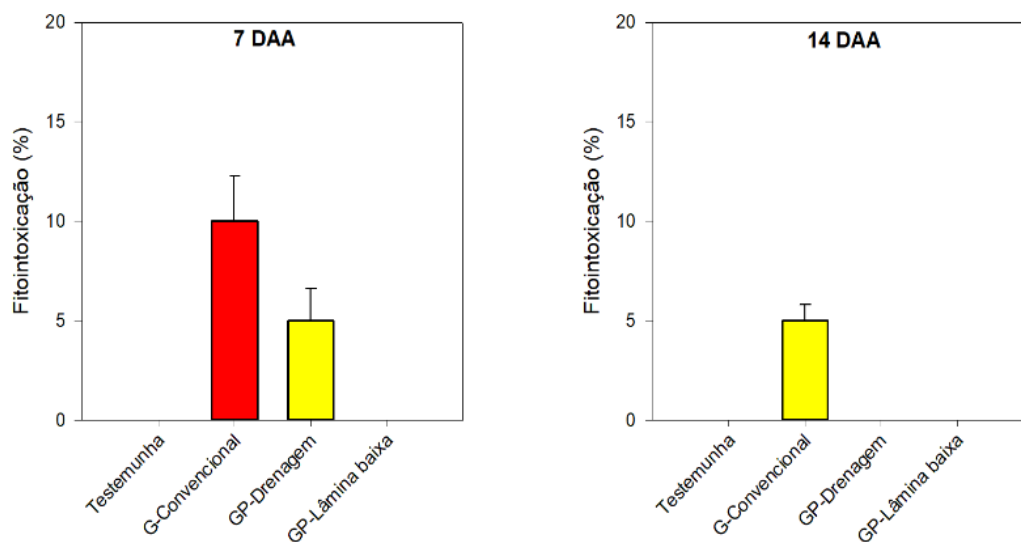
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Fitointoxicação na cultura do arroz.

A avaliação realizada a campo, de forma visual, constatou que 7 dias após a aplicação dos tratamentos, o tratamento 2 (Gamit convencional), apresentou injurias nas plantas, em torno de 10%; já o tratamento 3 (Gamit + Permit com drenagem), apresentou injurias nas plantas pelo Clomazone, em torno de 5%. Com 14 dias após a aplicação, apenas o tratamento 2 apresentou injurias, causadas pelo Clomazone, em torno de 5%. Os outros tratamentos não apresentaram injurias visuais. Aos 28 dias após a aplicação nenhum tratamento

apresentou injúrias nas plantas. Isto nos mostra que com o Clomazone promove fitointoxicação na cultura, mas os sintomas são transitórios.

Figura 14 - Fitointoxicação na cultura do arroz irrigado, cultivar SCS 121 CL, nas avaliações de 7 e 14 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA). Turvo-SC, 2022/2023 ($p < 0,05$).



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

4.3.2 Controle de capim-arroz

A utilização do sistema Gamit + Permit apresentou melhor opção de tratamento para o controle de capim-arroz (*Echinochloa crus-galli*) (Figura 15), desde o início do ciclo até na pré-colheita (Figura 16). O tratamento apenas com a utilização do Gamit, apresentou uma eficiência menor no controle, na pré-colheita.

O clomazone é um herbicida com ação pré-emergente e pós-emergente, pertencente à classe dos isoxazóis. Sua principal função é inibir a biossíntese de carotenoides nas plantas, um processo essencial para a proteção dos pigmentos fotossintéticos e para a integridade da membrana celular. A ausência de carotenoides leva a uma degradação dos cloroplastos e, eventualmente, à morte da planta (Kirksey et al., 1996). O clomazone é conhecido por sua eficácia no controle de várias plantas daninhas de folhas largas e gramíneas, incluindo o capim-arroz.

O dietholate é um adjuvante utilizado para melhorar a seletividade de herbicidas e a eficácia de produtos como o clomazone. Ele age principalmente como um protetor das sementes, melhorando a absorção e ativação do herbicida pelo sistema da planta alvo. O dietholate atua sobre a enzima citocromo P-450 mono-oxigenase, que é responsável pela ativação do clomazone no interior da planta (SANCHOTENE, 2010). Ao otimizar a ativação do clomazone, o dietholate ajuda a aumentar a eficácia do controle de plantas daninhas.

A combinação de Gamit e Permit pode oferecer vantagens significativas no controle de plantas daninhas como o capim-arroz (*Echinochloa crus-galli*). O dietholate potencializa a ação do clomazone, prolongando o efeito residual do herbicida e proporcionando um controle mais eficaz das plantas daninhas durante todo o ciclo do cultivo, desde a emergência até a pré-colheita.

Figura 15 – Vista dos quatros tratamentos antes da colheita dos tratamentos.

Turvo, SC, 2022/2023.



Testemunha



G-Convencional



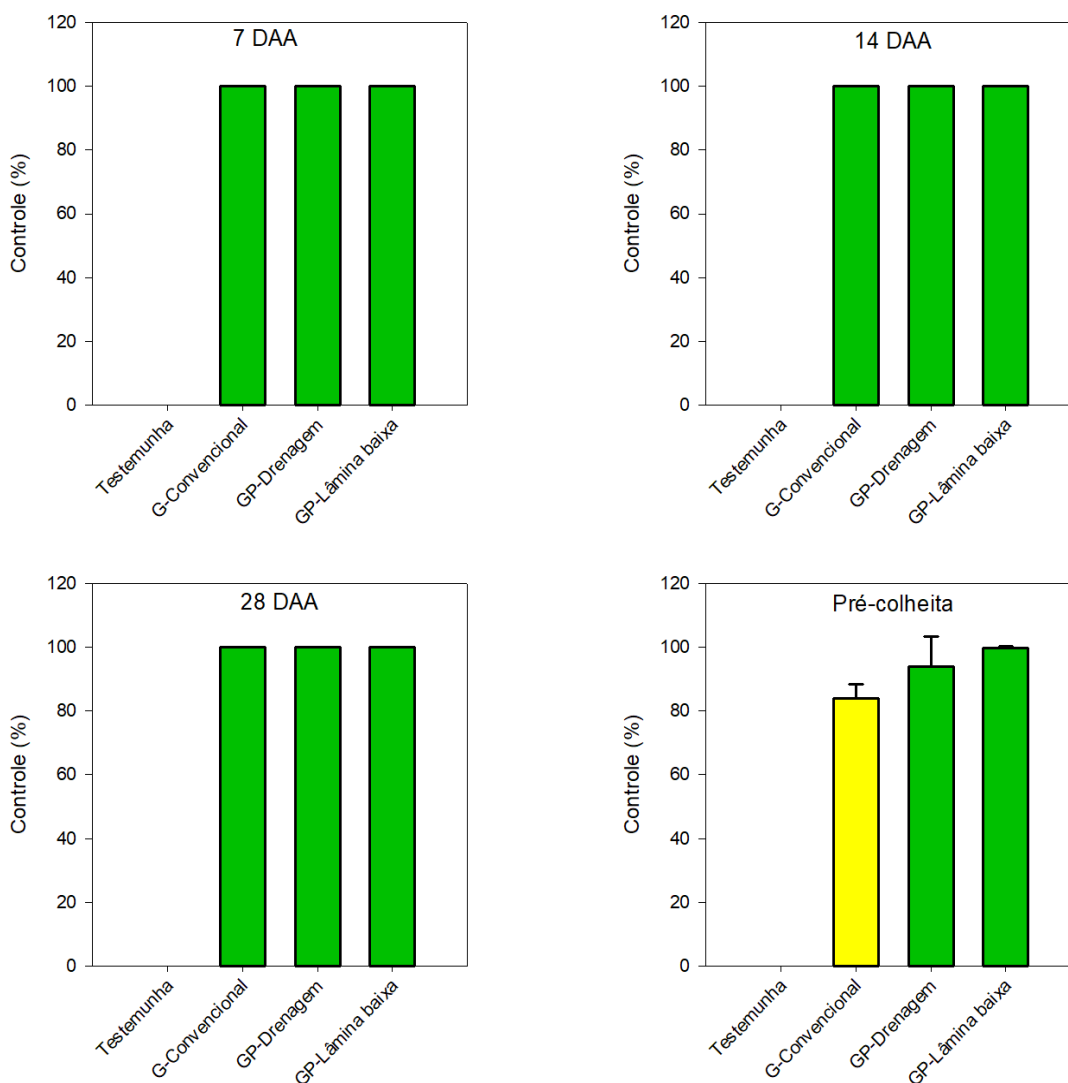
GP-Drenagem



GP-Lâmina baixa

Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Figura 16 - Controle de capim-arroz (*Echinochloa crus-galli*) aos 7, 14 e 28 DAA e na pré-colheita do arroz. Turvo, SC, 2022/2023 ($p < 0,05$).



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

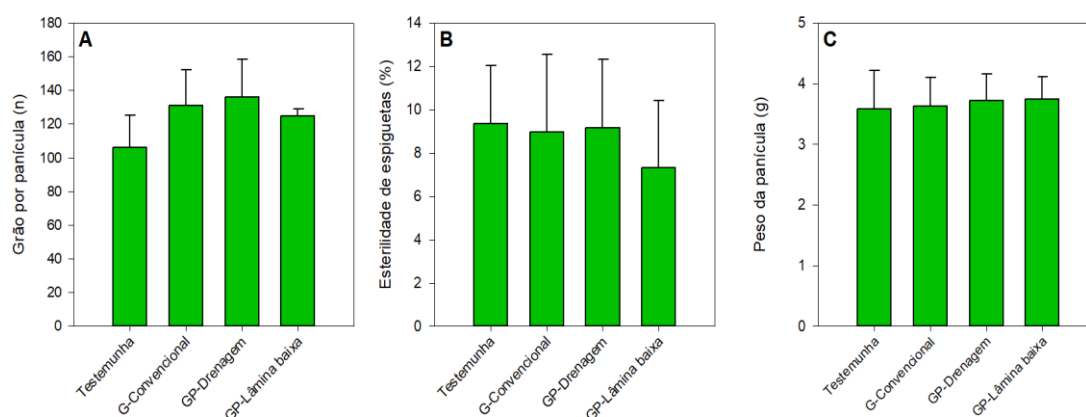
4.3.3 Componentes de rendimento e produtividade de grãos

As avaliações de componentes de rendimento, apresentaram resultados semelhantes entre os tratamentos utilizados (Figura 17). A produtividade do tratamento 3 (Gamit + Permit com drenagem) apresentou o melhor resultado (Figura 18), mas o tratamento 2 e 4 seguem próximos. O dietholate, ao atuar como um protetor e ativador do clomazone, melhora a seletividade do herbicida às plantas de arroz e aumenta a eficiência do controle das plantas daninhas.

Estudos demonstram que a combinação desses herbicidas resulta em uma atividade herbicida mais robusta e duradoura em comparação com a aplicação do clomazone sozinho (SANTOS, 2008). Isso ocorre porque o dietholate reduz a degradação precoce do clomazone, permitindo que ele permaneça ativo no ambiente por mais tempo e controle efetivo das plantas daninhas até a pré-colheita. A análise de produtividade necessita de uma nova reavaliação, durante a análise houve alguns equívocos que precisam ser corrigidos para garantir maior precisão nos resultados.

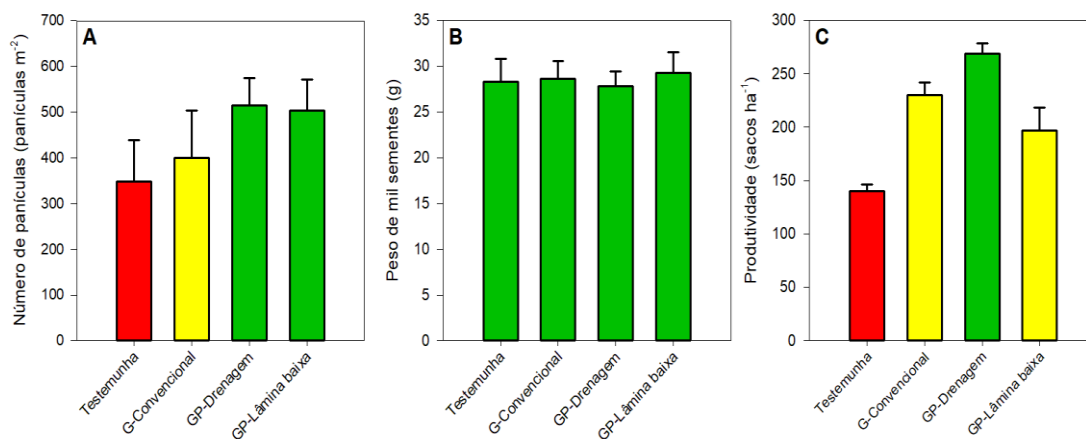
Figura 17 - Avaliações dos componentes de rendimento do arroz: grãos por panícula (A), esterilidade de espiguetas (B) e peso médio da panícula (C).

Turvo, SC, 2022/2023 ($p < 0,05$).



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

Figura 18 - Avaliações dos componentes de rendimento e produtividade de arroz em casca: número de panículas por m^2 (A), peso de mil sementes (B) e produtividade de grãos (C). Turvo, SC, 2022/2023 ($p < 0,05$).



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

4.3.4 Dietholate e Clomazone em água

As avaliações das amostras de coleta de água, foi detectado em água o composto do dietholate, no tratamento 3, apenas na drenagem pós-semeadura. Na demais coletas, nada foi constatada, pelos componentes analisados (Tabela 1).

Tabela 1 - Quantificação de dietholate e clomazone (mg L^{-1}) na água de drenagem coletada após a semeadura, aos 25 e 50 dias após a semeadura (DAS). Turvo, SC, 2022/2023.

Tratamento	Drenagem pós-semeadura	
	Dietholate	Clomazone
	mg L^{-1} (ppm)	
Testemunha	ND ¹	ND
Gamit convencional	ND	ND
GPS com drenagem	0,66 ($\pm 0,44$) ²	ND
GPS com lâmina baixa	ND	ND
Drenagem aos 25 DAS		
Testemunha	ND	ND
Gamit convencional	ND	ND
GPS com drenagem	ND	ND
GPS com lâmina baixa	ND	ND
Drenagem aos 50 DAS		
Testemunha	ND	ND
Gamit convencional	ND	ND
GPS com drenagem	ND	ND
GPS com lâmina baixa	ND	ND

¹ ND = pesticida não detectado na água de drenagem.

² valor entre parênteses representa o intervalo de confiança ($\alpha = 95\%$), calculado a partir da equação:

$$IC = \text{média} \pm z \cdot \frac{\text{desvio padrão}}{\sqrt{n}}$$

Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

4.4 CONCLUSÃO

O sistema Gamit + Permit demonstrou eficiência no controle de capim-arroz durante o período da pesquisa, contribuindo para uma alta produtividade na cultura do arroz. No entanto, ao avaliar o sistema com drenagem, foi detectada a presença de dietholate na água após a semeadura, o que revela uma preocupação ambiental, uma vez que a contaminação da água pode comprometer a sustentabilidade do sistema a longo prazo. Em contrapartida, o sistema sem drenagem, embora também tenha apresentado boa produtividade, não mostrou a presença de compostos estudados na água, o que indica uma solução mais favorável em termos de impacto ambiental.

Dessa forma, é crucial considerar um equilíbrio entre produtividade e sustentabilidade ambiental. Pensando no tempo mínimo necessário para a drenagem sem que haja a presença de dietholate na água, propõe-se, para o próximo capítulo, uma análise mais aprofundada sobre o manejo do sistema de drenagem. O objetivo é identificar o tempo ideal de drenagem que assegure alta produtividade sem comprometer a qualidade da água, minimizando a presença de compostos indesejáveis. Essa investigação é essencial para aperfeiçoar a prática agrícola de forma ambientalmente responsável e economicamente eficiente.

5 PERSISTÊNCIA DO PROTETOR DIETHOLATE NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO DO ARROZ IRRIGADO EM SISTEMA PRÉ-GERMINADO

5.1 INTRODUÇÃO

A seletividade de um herbicida à cultura está relacionada a uma série de fatores, como características do produto, das plantas e métodos de aplicação (OLIVEIRA Jr., 2001), sendo determinada pela tolerância diferenciada que as plantas apresentam, assim como sua metabolização (DEUBER, 1992). A seletividade a herbicidas pode estar associada à absorção, translocação ou metabolismo do produto (LIEBL; NORMAN, 1991).

Segundo Hoffman (1962) apresentou a ideia do aumento da seletividade de plantas a herbicidas através do uso de substâncias químicas, chamadas de antídotos ou “*safeners*”, que podem ser utilizadas na forma de tratamento da semente ou em mistura com o herbicida, na calda de pulverização. Devido à sua habilidade de aumentar a seletividade da cultura, os antídotos têm distintos potenciais de uso, que incluem a proteção das culturas contra os danos causados por resíduos de herbicidas e o uso de herbicidas sob condições adversas, onde é provável ocorrer dano à cultura (DAVIES; CASELEY, 1999).

O dietholate, considerado um *safeners*, aplicado como tratamento de semente, tem permitido dobrar a dose do herbicida Clomazone, sem prejuízo à cultura do arroz, com o aumento da eficiência do controle das principais plantas daninhas desta cultura (ZANON JUNIOR, 2007).

O Dietolat (Figura 2), conhecido comercialmente como Permit, é um protetor de sementes, aplicado em sementes antes da semeadura, para a proteção contra a ação fitotóxica do herbicida clomazone (LINK, 2023; PERMIT-STAR, 2023), pois inibe a enzima citocromo P-450 mono-oxigenase, responsável pela ativação do clomazone (Ferhatoglu et al., 2005). A enzima citocromo P-450 mono-oxigenase possui nas plantas a função de detoxificação, mas, no caso do clomazone, é a responsável pela sua oxidação, tornando-o tóxico às plantas que possuem maior capacidade de oxidação (Ferhatoglu et al., 2005; Yun et al., 2005). Com a inibição dessa enzima, não há transformação do

clomazone, não havendo assim formação do herbicida ativo e, conseqüentemente, dano à planta (SANCHOTENE; KRUSE; AVILA; MACHADO; NICOLODI; DORNELLES, 2010).

Seu princípio ativo está classificado no nível III de risco ambiental e toxicológico, pertencente ao grupo químico dos organofosforado, outras substâncias inibidoras da acetilcolinesterase (organofosforados ou carbamatos) podem potencializar os efeitos tóxicos (MAPA, 2020).

5.2 MATERIAS E MÉTODOS

5.2.1 Local e delineamento do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade do Estado de Santa Catarina UDESC/CAV. Delineamento inteiramente casualizado, 6 tratamentos e quatro repetições. A sementes utilizadas foram da cultivar SCS 122 Miura pré-germinadas (Figura 19), armazenadas em BOD a 30 °C, com 48 h de hidratação e 48 h de incubação. O Permit foi aplicado 1 dia antes da semeadura, com dose de 6 ml kg⁻¹.

Figura 19 – Sementes pré-germinada



Fonte: Mayra Schelter, 2023.

O experimento utilizou 0,5 kg de sementes, após a incubação foi pesada, para fazer a correção de umidade. O experimento utilizou bandejas 30 x 18 cm (0,054 cm²) (Figura 20), com 4 repetições (bandejas), para simular o plantio da cultura de arroz. A temperatura foi de 15 °C a 30 °C, com umidade relativa de 30 a 50%.

Figura 20 – Bandeja, simulando as condições de cultivo de arroz em sistema pré-germinado.



Fonte: Mayra Schelter, 2023.

A coleta de água ocorreu pré-semeadura, logo após a semeadura, 1 dia após a semeadura (DAS), 3 DAS, 5 DAS, 10 DAS. Após as coletas, foram armazenadas no congelador com temperatura de - 18°C a - 20 °C, até as análises serem realizadas.

5.2.2 Laboratório

5.2.2.1 Química

No laboratório de química, foram analisadas as amostras de água coletadas. As amostras ficaram no congelador, desde a coleta até serem analisadas, em uma temperatura de -18°C a -20°C .

Preparação da amostra e amostragem

A preparação e amostragem ocorreu conforme Đurović *et al.* (2008) com modificações. As amostras de água filtradas em papel filtro quantitativo (12,5 cm, Unifil) (Figura 10), posteriormente passando em um filtro de seringa (Chromafil Xtra PTFE-45/25) (Figura 11).

Então foram adicionadas 10 mL em vials de 20 mL. A extração ocorreu em temperatura ambiente (25°C) sob agitação magnética de 2,5 rpm (Figura 12). A fibra SPME 50/30 μm (DVB/CAR/PDMS Stablefex, 2 cm, Supelco) foi exposta imergindo na amostra durante 50 min. Após o período de amostragem a fibra foi levada para injeção no cromatógrafo gasoso (Figura 13). O tempo de detecção do Dietolat foi de 14,88 com hit (íons mais estáveis) 94 e 110.

Instrumentação

As análises foram realizadas em um sistema GC-MS (Perkin Elmer) que consiste em um cromatógrafo gasoso (modelo Clarus[®] 680 GC, Waltham, USA) acoplado a um espectrômetro de massas (modelo Clarus[®] SQ 85, Waltham, USA). Utilizou-se uma coluna capilar Elite 5-MS de 30 m x 0,25 mm d. i. e 0,25 mm de espessura (Perkin Elmer). O método utilizado foi adaptado de Zanella *et al.* (2008) e Đurović *et al.* (2008). O GC foi programado da seguinte forma: a temperatura inicial foi de 45°C por 1,5 min, depois aumentou a 260°C a $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$. O hélio foi usado como gás de arraste e seu fluxo a taxa foi de $1,0\text{ ml min}^{-1}$. Injeção ocorreu em modo splitless com fibra SPME 50/30 μm (DVB/CAR/PDMS Stablefex, 2 cm, Supelco) exposta por 7 min no injetor a 270°C . O espectrômetro de massa com armadilha de íons foi operado no impacto de elétrons utilizando modo SCAN (33 a 400 m/z) com 5 min de solvente delay.

As temperaturas da linha de transferência foram ajustadas para 220 °C e 250 °C, respectivamente. A preparação do padrão do Dietolat (ethyl phenyl ethoxy(sulfanylidene)phosphonite, Key Organic), Número CAS: 32345-29-2, utilizou metanol para a concentração padrão 200mg L⁻¹. A partir deste, utilizou água ultrapura (MilliPore - MilliQ) para a preparação da curva com concentrações 0,0; 1,0; 3,0; 5,0; 7,0 mg L⁻¹.

O limite de detecção (LD) do Dietolat, que representa a menor concentração da substância que pode ser detectada, foi de $9,9536 \times 10^{-7}$, baseada na fórmula de acordo com a IUPAC:

$$LD = \frac{3 \times s}{a}$$

onde:

s: desvio padrão

a: coeficiente angular

O limite de quantificação (LQ) do Dietolat, que representa a menor concentração da substância que pode ser medida, foi de $3,3178 \times 10^{-6}$, baseada na fórmula de acordo com a IUPAC:

$$LQ = \frac{10 \times s}{a}$$

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

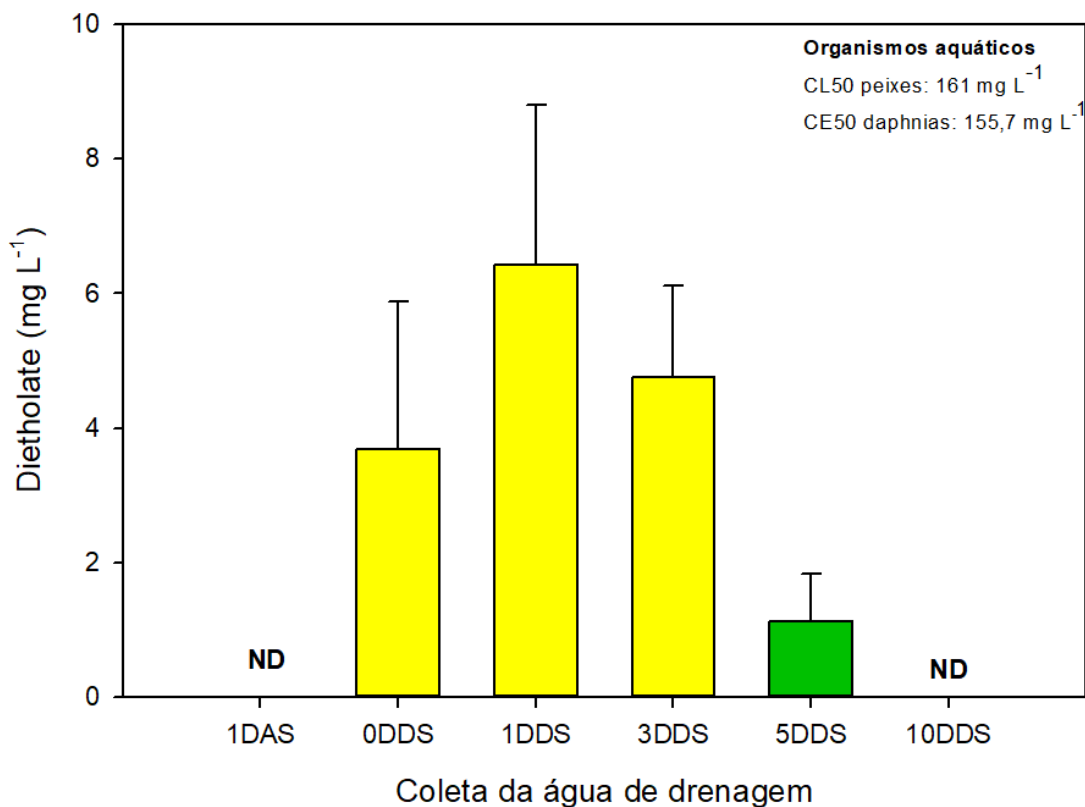
A detecção do dietholate apresentou nos dias pós-semeadura, 1 DDS, 3 DDS, 5 DDS (Figura 21). O 1 DDS foi o dia em que apresentou maior liberação do composto em água. Nos dias seguintes, a concentração da substância foi decaindo, ou seja, a planta e o metabolismo do composto foram reagindo.

O comportamento observado do dietholate, com a maior liberação logo após a semeadura (1 Dia Depois da Semeadura - DDS), indica uma rápida lixiviação do composto para a água de drenagem. Isso é coerente com a aplicação do composto em solos úmidos ou diretamente na água em sistemas de cultivo irrigado por inundação, como o arroz. A rápida presença do dietholate na água sugere uma alta solubilidade inicial ou baixa adsorção pelo solo nas primeiras horas após a aplicação (GUO,2008).

O dietholate, sendo um herbicida, é absorvido pelas plantas durante o processo de crescimento, especialmente nos primeiros dias após a semeadura, quando o sistema radicular está se desenvolvendo. Esse comportamento é esperado em sistemas agrícolas irrigados. A quebra do composto no ambiente pode ser catalisada por fatores como atividade microbiana e reações químicas promovidas pelo pH da água, temperatura e presença de outros compostos orgânicos (SOUTHWICK,1988).

Os resultados observados para o dietholate no ensaio de casa de vegetação indicam um perfil de comportamento que envolve uma rápida liberação na água de drenagem nos primeiros dias, seguida por um decaimento relativamente rápido. Este comportamento é vantajoso para o controle de ervas daninhas no arroz, minimizando o tempo de exposição do ambiente aquático ao composto. A partir do décimo dia, não houve detecção de dietholate, sendo assim um ótimo resultado.

Figura 21 - Quantificação de dietholate (mg L^{-1}) em água de drenagem de arroz irrigado em função da época de coleta. Ensaio de casa de vegetação. Lages, SC, 2023.



Fonte: Elaborada pela autora, 2024.

5.4 CONCLUSÃO

A dissertação aponta várias áreas promissoras para a continuidade das pesquisas, especialmente focadas na otimização do uso do dietholate e clomazone em sistemas de produção de arroz pré-germinado.

Embora o estudo tenha dado um passo importante na quantificação do dietholate e clomazone, há uma lacuna na análise mais detalhada dos impactos ecotoxicológicos desses compostos em diferentes ecossistemas aquáticos. Pesquisas futuras devem incluir avaliações mais profundas dos impactos nas comunidades biológicas aquáticas, para garantir um uso sustentável desses herbicidas.

O estudo sobre o desempenho agrônomo e a segurança ambiental do uso combinado de dietholate e clomazone no sistema de produção de arroz pré-germinado trouxe avanços importantes na compreensão dos efeitos desses

compostos tanto na produtividade quanto no meio ambiente. A pesquisa alcançou seu objetivo ao quantificar a presença de dietholate e clomazone na água de drenagem em diferentes estágios do cultivo, e avaliar os potenciais impactos ecotoxicológicos dessas substâncias.

Os resultados demonstraram que a combinação de Gamit (clomazone) e Permit (dietholate) é eficaz no controle de plantas daninhas, como o capim-arroz, e contribui para um aumento da produtividade da cultura do arroz. No entanto, a detecção de dietholate na água em sistemas com drenagem logo após a semeadura levanta preocupações ambientais, uma vez que a contaminação dos recursos hídricos pode comprometer ecossistemas aquáticos e a sustentabilidade a longo prazo. O ideal da drenagem no sistema Gamit + Permit é a partir do décimo dia.

Assim, a pesquisa conclui que, para maximizar os benefícios agronômicos do uso de herbicidas como o clomazone e dietholate, é fundamental implementar estratégias de manejo de água mais sustentáveis, como a otimização dos períodos de drenagem. Futuros estudos são recomendados para aperfeiçoar esse manejo, além de investigar os impactos ecotoxicológicos em uma escala mais ampla, incluindo diferentes ecossistemas e condições de cultivo. Isso permitirá que a produção de arroz irrigado continue a prosperar, sem comprometer a saúde ambiental das regiões agrícolas.

REFERÊNCIAS

- BASF. **Produção de arroz no Brasil**: quais os principais estados produtores?. quais os principais estados produtores?. 2024. Disponível em: <https://agriculture.basf.com/br/pt/conteudos/cultivos-e-sementes/arroz/estados-produtores.html>. Acesso em: 17 abr. 2024.
- BASSINELLO, Priscila Zaczuk. Arroz como alimento. **Arroz**: Avanços tecnológicos, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 101-108, 2004.
- CDPR (Departamento de Regulação de Pesticidas da Califórnia), 2003. <http://www.cdpr.ca.gov/docs/registration/ais/publicreports/3537.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2023.
- CONAMA. Resolução nº 001, de 23 de novembro de 1986. Ministério do Meio Ambiente.
- CRUZ, Taisson Kroth Thomé da. **EFEITOS DE FORMULAÇÕES CONTENDO CLOMAZONE® SOBRE PARÂMETROS BIOQUÍMICOS, CITOGENÉTICOS E COMPORTAMENTAIS EM PEIXE-ZEBRA (DANIO RERIO)**. 2020. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Biológicas: Bioquímica Toxicológica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.
- DAVIES, J.; CASELEY, J. C. Herbicide safeners: a review. **Pesticide Science**, Oxford, v.55, n.11, p. 1043-1058, 1999.
- DEUBER, R. Herbicidologia. In: DEUBER, R. **Ciência das plantas daninhas: fundamentos**. Jaboticabal, FUNEP, 1992
- ĐUROVIĆ, R.; Gajić-Umiljendić, J.; Đorđević, T. Determination of Atrazine, Acetochlor, Clomazone, Pendimethalin and Oxyfluorfen in Soil by a Solid Phase Microextraction Method. **Pestic. Phytomed. (Belgrade)**, 23, p.265-271, 2008.
- EMBRAPA. **TOXICIDADE AGUDA DO HERBICIDA CLOMAZONE NO PEIXE *Hypheosobrycon scholzei***. Curitiba: Embrapa, 1998. 8 v.
- EMBRAPA. **Cultivo do arroz**. 2021. Embrapa Arroz e Feijão. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz>. Acesso em: 17 abr. 2024.
- EMBRAPA. **Cultivo do arroz**. 2023. Embrapa Arroz e Feijão. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz>. Acesso em: 17 abr. 2024.
- EPAGRI. **Sistema de produção de arroz irrigado em Santa Catarina (sistema pré-germinado)**. Florianópolis, 1998. 79p. (Epagri. Sistemas de Produção, 32).
- FAO. **Rice**. 2004. Disponível em: www.fao.org/rice2004. Acesso em: 29 mar. 2023.

FERHATOGLU, Y.; AVDIUSHKO, S.; BARRET, M. The basic for safening of clomazone by phorate insecticide in cotton and inhibitors of cytochrome P450s. **Pestic. Biochem. Physiol.**, v. 81, n. 1, p. 59-70, 2005.

FREITAS, J. S., et al., Combined effects of temperature and clomazone (Gamit®) on oxidative stress responses and B-esterase activity of *Physalaemus nattereri* (Leiuperidae) and *Rhinella schneideri* (Bufonidae) tadpoles. **Chemosphere**. 185, 548 – 562. 2017. doi.org/10.1016/j.

GARCIA, Alexander Patricio. PERFIL DO ORIZICULTOR DO EXTREMO SUL CATARINENSE. **Produção Técnico-Científica em Sementes**, Pelotas, v. 1, n. 1, p. 387-414, mar. 2020.

GUO, J., Wu, F., Huang, G., & Zhang, R. (2008). "Environmental behavior of pesticide residues in paddy fields." *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 92(2), 78-84.

HOFFMAN, O. L. Chemical seed treatments as herbicide antidotes. **Weeds**, Ithaca, v. 10, p. 32, 1962.

ISHIY, T.; NOLDIN, J. A. Controle de misturas varietais através da água de irrigação na cultura do arroz irrigado, sistema pré-germinado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22., 1997, Balneário Camboriú. **Anais**. Itajaí: Epagri, 1997. p. 478-480.

KIRKSEY, K.B.; HAYES, R.M.; KRUGER, W.A.; MULLINS, C. A.; MUELLER, T.C. Clomazone dissipation in two Tennessee soils. **Weed Sci.**, v.44, p.959-963, 1996.

KIRKSEY, E. R.; SMITH, J. L.; JOHNSON, R. A. Persistência do clomazone no solo. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 44, n. 12, p. 3492-3497, 1996.

LAURETTI, R.L.B. et al. Efeitos de diferentes manejos de água no estabelecimento de plantas de arroz no sistema pré-germinado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.9, p.1093-1099, 2001.

LIEBL, R. A.; NORMAN, M. A. Mechanism of clomazone selectivity in corn (*Zea mays*), soybean (*Glycine max*), smooth pigweed (*Amaranthus hybridus*), and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). **Weed Science**. Lawrence, v. 39, 1991. p. 329-332.

LINK, Agro. **Bula Clomazone 500 EC FMC**. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/produto/clomazone-500-ecn_fmc_8000.html. Acesso em: 31 jan. 2023.

LINK, Agro. **Bula Permit Star**. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/produto/permit-star_7703.html. Acesso em: 01 fev. 2023.

MAGALHÃES JÚNIOR, Ariano Martins de. **Sistema de Cultivo de Arroz Irrigado no Brasil**. Pelotas: Embrapa, 2004. 270 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/179868/1/sistema-03.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2024.

MATTOS, M. L. T. et al Monitoramento Ambiental do Herbicida Clomazone, Fomulação Solúvel em Água de Lavoura de Arroz Irrigado. Embrapa Clima Temperado – **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 30**. Pelotas – RS, 20p, 2006.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **17707: PERMIT® STAR**. Campinas: Fmc Química do Brasil Ltda, 2020.

MORE: Mecanismo online para referências, versão 2.0. Florianópolis: UFSC Rexlab, 2013. Disponível em: <http://www.more.ufsc.br/>. Acesso em: 18 nov. 2023.

MONQUERO, P.A.; BINHA, D.P.; SILVA, A.C.; SILVA, P.V., AMARAL, L.R. Eficiência de herbicidas pré-emergentes após períodos de seca. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.26, n.1, p.185-193, 2008.

NOLDIN, J.A.; HERMES, L.C.; FAY, E.F.; EBERHARDT, D.s.; ROSSI, M.A.. Persistência do herbicida clomazone no solo e na água quando aplicado na cultura do arroz irrigado, sistema pré-germinado. **Planta Daninha**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 401-408, dez. 2001. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582001000300013>.

NUNES, José Luis da Silva. **Histórico da cultura do arroz**. 2020. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/informacoes-da-cultura/informacoes-gerais/historico-do-arroz_361591.html. Acesso em: 17 abr. 2024.

OLIVEIRA JUNIOR, R.S. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: OLIVEIRA JUNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba: Agropecuária, 2001. p. 291-313.

PADRÃO, Gláucia de Almeida. **Santa Catarina amplia produção de arroz e se consolida como maior média de produtividade do Brasil**. 2022. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/videos/graos/322863-santa-catarina-amplia-producao-de-arroz-e-se-consolida-como-maior-media-de-productividade-do-brasil.html#.Y9lr3a3MK3A>. Acesso em: 31 jan. 2023.

PERMIT-STAR. **Permit Star**. Disponível em: <https://www.3tentos.online/permit-star/p>. Acesso em: 01 fev. 2023.

PETRINI, José Alberto. **Manejo do solo e sistema de plantio**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2021.

PRIMEL, E.G., 2005. Poluição das águas por herbicidas utilizados no cultivo do arroz irrigado na região central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil: Predição teórica e monitoramento. **Quím. Nova**. 28, 605-609.

SANCHOTENE, D.M.; KRUSE, N.D.; AVILA, L.A.; MACHADO, S.L.O.; NICOLODI, G.A.; DORNELLES, S.H.B. Efeito do protetor dietholate na seletividade de clomazone em cultivares de arroz irrigado. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v.28, n.2, p.339-346, 2010.

SANCHOTENE, D.M.; KRUSE, N.D.; AVILA, L.A.; MACHADO, S.L.O.; NICOLODI, G.A.; DORNELLES, S.H.B. **Phorate e dietholate protegem o arroz da fitotoxicidade do clomazone em doses elevadas**. *Planta Daninha*, Viçosa – MG, v.28, n.4, p.909-912, 2010.

SANTOS, C. R. Persistência e transporte de herbicidas. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 7, n. 1, p. 45-59, 2008.

SANTOS, Francisco J.. CONTROLE QUÍMICO DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO NO ESTADO DO CEARÁ. **Planta Daninha**, Fortaleza, v. 18, n. 1, p. 5-37, mar. 2000.

SANTOS, F. M., Marchesan, E., Machado, S. L. O., Avila, L. A., Zanella, R., & Gonçalves, F. F.. (2008). Persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone em lâmina de água do arroz irrigado. **Planta Daninha**, 26(4), 875–881. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000400019>

SOSBAI. **Arroz Irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil** / XXXI Reunião Técnica do Arroz Irrigado, 2016, Bento Gonçalves, RS, Brasil. –Sociedade Sul-brasileira de Arroz Irrigado. Pelotas: 2016. 200 p., il.

SOUTHWICK, L. M.; HEYDEL, T. E.; KERR, J. A. Absorption and translocation of herbicides in plants. *Weed Science*, v. 36, n. 1, p. 125-130, 1988.

VALE, M.L.C.; HICKEL, E.R. (Orgs.). **Recomendações para a produção de arroz irrigado em Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2022. 132p. (Epagri. Sistemas de Produção, 56).

YUN, M. S. et al. Cytochrome P-450 monooxygenase activity in herbicide-resistant and susceptible late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*). **Pestic. Biochem. Physiol.**, v. 83, n. 2, p. 107-114, 2005.

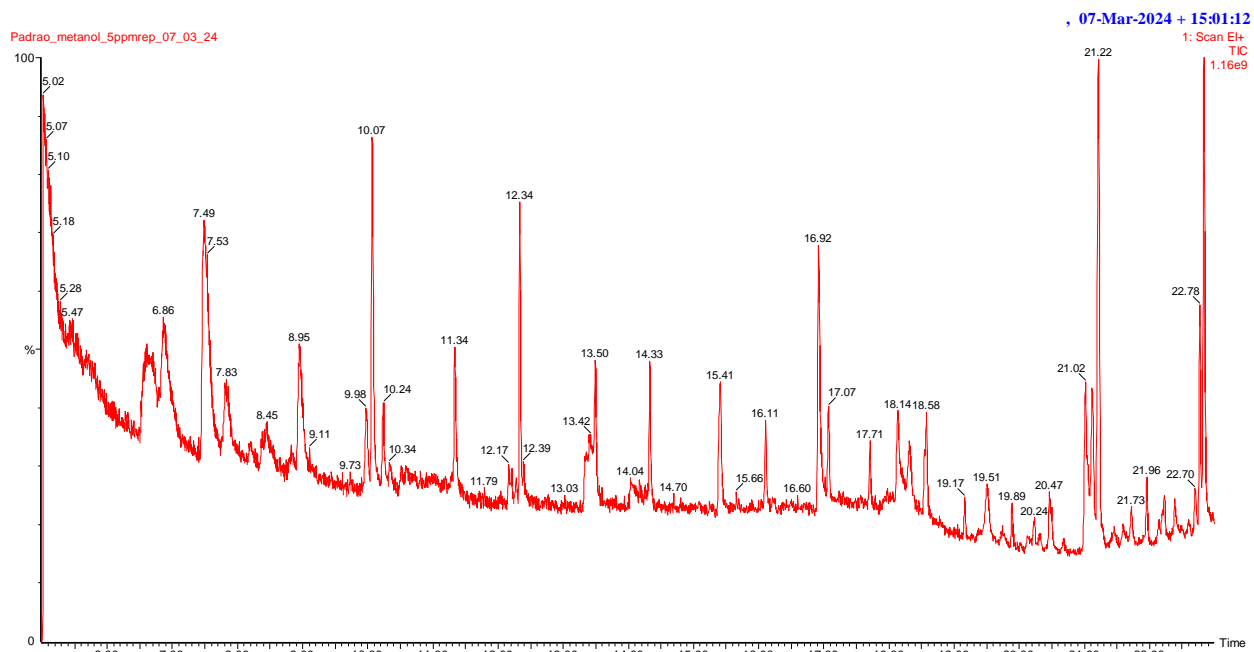
ZANELLA, R., et al. Monitoring of the Herbicide Clomazone in Environmental Water Sample by Solid-phase Extraction and High performance Liquid Chromatography With Ultraviolet Detection. **Chromatographia**, v. 55, p. 573 – 577. 2002. <https://doi.org/10.1007/BF02492903>.

ZANELLA, R. et al. Study of the Degradation of the Herbicide Clomazone in Distilled and in Irrigated Rice Field Waters using HPLC-DAD and GC-MS. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 19, p. 987-995, 2008.

ZANON JUNIOR, A.. **DIETHOLATE PERMITE AUMENTAR A DOSE DE CLOMAZONE SOBRE A CULTIVAR BR IRGA 417**. Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria: Dept. Defesa Fitossanitária, 2007. 3 p.

ANEXOS

Cromatograma Clomazone



Cromatograma Dietolate

