

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA**

RICHELE PEREIRA ROMUALDO

**SELETIVIDADE DE TRIGO CLEARFIELD® A IMIDAZOLINONAS E EFICÁCIA NO
CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS**

**Itaqui, RS, Brasil
2024**

RICHELE PEREIRA ROMUALDO

**SELETIVIDADE DE TRIGO CLEARFIELD® A IMIDAZOLINONAS E EFICÁCIA NO
CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS**

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

Orientador: Prof. Dr. Glauber Monçon
Fipke

**Itaqui, RS, Brasil
2024**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pela autora através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

A481o Romualdo, Richele Pereira

Seletividade de trigo Clearfield® a imidazolinonas e eficácia no controle de plantas daninhas / Richele Pereira Romualdo. – 2024.
60 p.

Orientador: Glauber Monçon Fipke
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pampa, AGRONOMIA, Campus Itaqui, 2024.

1. Fitointoxicação. 2. Herbicidas. 3. Pós-emergentes. I. Fipke, Glauber Monçon. II. Seletividade de trigo Clearfield® a imidazolinonas e eficácia no controle de plantas daninhas.

RICHELE PEREIRA ROMUALDO

**SELETIVIDADE DE TRIGO CLEARFIELD® A IMIDAZOLINONAS E EFICÁCIA NO
CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS**

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

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 28 de junho de 2024.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Glauber Monçon Fipke
Orientador
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

Prof. Dr. Vinicius dos Santos Cunha
UNIPAMPA

Prof. Dr. Rodrigo Luiz Ludwig
IFRS

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, por ser fonte da vida, de fé e iluminação diária, por conceder-me saúde, força, inspiração e determinação para com os meus objetivos, essencialmente pela família excepcional que possuo, sempre sendo minha base e incentivo para continuar em direção às decisões adequadas.

Meu pai Florindo Gimenez Romualdo, e minha mãe Floraci da Silva Pereira, que me concederam a vida, e ensinaram-me como ninguém mais poderia ter ensinado, como vivê-la. Sempre me apoiando em todos os momentos, sendo meu alicerce e pilar, dedicando-se a me proporcionar o melhor que estava aos seus alcances. Durante os momentos de dificuldade estiveram ao meu lado, me protegendo e cuidando, dando segurança e apoio. Amo vocês infinitamente, sou parte de suas vidas, e vocês são toda a minha história!

Ao Prof. Dr. Glauber Monçon Fipke pela orientação, e além disso, pela paciência, apoio, atenção, disponibilidade, e por todos os ensinamentos passados, oportunidades, auxílio na realização das atividades, e pelos conselhos, que me acolheram em diversos momentos da graduação. Obrigada por servir como exemplo de profissionalismo, organização, responsabilidade, humanidade e ética.

E ainda, pela oportunidade de participar do grupo de Pesquisa, Ensino e Extensão em Manejo Agropecuário Integrado e Sustentável em Terras Baixas (MAIS-Várzea) em que é tutor, do qual tenho muito orgulho de ter feito parte, onde adquiri muitos conhecimentos, desenvolvi atividades essenciais para a minha formação, e conheci colegas que me acolheram e trocaram experiências.

Aos professores integrantes da banca avaliadora, Prof. Dr. Vinicius dos Santos Cunha e Prof. Dr. Rodrigo Luiz Ludwig, por aceitarem participar e se disponibilizarem em contribuir. Aos professores do curso de Agronomia, por todos os conhecimentos transmitidos durante a formação acadêmica. Assim como aos funcionários terceirizados, que auxiliaram na minha formação e fizeram parte desta trajetória de cinco anos.

Aos colegas, principalmente aos amigos, que fizeram parte dessa caminhada, direta e indiretamente, trocando mútuo apoio e incentivo para conclusão do curso. E também, todos aqueles que estiveram ao meu lado durante toda a trajetória, familiares, amigos e conhecidos.

EPÍGRAFE

“Que nunca percamos o hábito de apreciar as miudezas”.

Autor desconhecido

RESUMO

SELETIVIDADE DE TRIGO CLEARFIELD® A IMIDAZOLINONAS E EFICÁCIA NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS

Autor: Richele Pereira Romualdo

Orientador: Glauber Monçon Fipke

Local e data: Itaqui, 28 de junho de 2024.

A cultura do trigo está se destacando na Fronteira Oeste do RS, tornando-se opção no cultivo de inverno. Mas sofre limitações fitossanitárias, como a incidência de plantas daninhas. O objetivo do trabalho foi analisar a seletividade do trigo CL® e o controle de plantas daninhas com a aplicação de herbicidas do grupo químico das Imidazolinonas em pós emergência. O trabalho foi conduzido na UNIPAMPA, *Campus* Itaqui, safra 2023. Com 9 tratamentos e 4 repetições (DBC). Para garantir a presença de plantas daninhas, foram semeados nabo, aveia e azevém. Seguidas da semeadura da cultura do trigo (TBIO Ello CL®). Após 40 dias foi realizada a aplicação dos tratamentos, com três testemunhas: sem aplicação de produtos; capinado; e, controle químico com o produto registrado para a cultura do trigo. Mais os herbicidas Imazapir + Imazapique e Imazetapir nas doses de 100, 66 e 33% da dose recomendada para o arroz irrigado CL®. As avaliações foram a mensuração visual da seletividade dos herbicidas, baseado na fitointoxicação da cultura do trigo CL®, e a eficácia no controle das plantas daninhas. Aos 8, 16, 25, 35 e 44 DAA, de acordo com escala de notas de 0 a 100%. E também, estatura de plantas, massa de mil grãos, produtividade, peso do hectolitro, número de espigas por m², e número de grãos por espiga. Os herbicidas não apresentaram fitointoxicação consideráveis ao trigo CL®. Configurando possível seletividade da cultivar TBIO Ello CL® aos herbicidas utilizados. O tratamento Imazapir + Imazapique 33% apresentou as menores porcentagens de injúrias no trigo CL®. Já a eficácia no controle de plantas daninhas expressou apenas metade do controle mínimo recomendado. Imazapir + Imazapique 100% e 66%, e Imazetapir 100%, demonstraram os melhores resultados no controle. Contrastando seletividade com os componentes de produtividade e qualidade do trigo, o tratamento Imazapir + Imazapique 66% destacou-se, apresentando maior produtividade de grãos.

Palavras-Chave: Fitointoxicação, herbicidas, pós-emergentes.

ABSTRACT

CLEARFIELD WHEAT SELECTIVITY TO IMIDAZOLINONES AND EFFICACY IN WEED CONTROL

Author: Richele Pereira Romualdo

Advisor: Glauber Monçon Fipke

Place and date: Itaqui, June 28, 2024.

Wheat cultivation is gaining prominence in the Western Border of RS, becoming an option for winter cultivation. But it suffers from phytosanitary limitations, such as the incidence of weeds. The objective of the work was to analyze the selectivity of CL® wheat and the control of weeds with the application of herbicides from the chemical group of Imidazolinones in post-emergence. The work was conducted at UNIPAMPA, Campus Itaqui, harvest 2023. With 9 treatments and 4 replications (DBC). To ensure the presence of weeds, turnips, oats and ryegrass were sown. Followed by sowing the wheat crop (TBIO Ello CL®). After 40 days, the treatments were applied, with three controls: no application of products; weeded; and, chemical control with the product registered for wheat cultivation. Plus the herbicides Imazapir + Imazapique and Imazetapir at doses of 100, 66 and 33% of the recommended dose for CL® irrigated rice. The evaluations were the visual measurement of the selectivity of the herbicides, based on the phytointoxication of the CL® wheat crop, and the effectiveness in controlling weeds. At 8, 16, 25, 35 and 44 DAA, according to a grading scale from 0 to 100%. And also, plant height, thousand grain mass, productivity, hectoliter weight, number of ears per m², and number of grains per ear. The herbicides did not present considerable phytotoxicity to CL® wheat. Configuring possible selectivity of the TBIO Ello CL® cultivar to the herbicides used. The Imazapir + Imazapique 33% treatment showed the lowest percentages of injuries in CL® wheat. The effectiveness in weed control expressed only half of the minimum recommended control. Imazapir + Imazapique 100% and 66%, and Imazetapir 100%, demonstrated the best control results. Contrasting selectivity with the productivity and quality components of wheat, the Imazapir + Imazapique 66% treatment stood out, presenting greater grain productivity.

Keywords: Phytointoxication, herbicides, post-emergents.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Croqui da área experimental contendo a distribuição dos tratamentos, repetições e dimensões da área, alocação dos canteiros e cultivares.....	30
Figura 2 – (A) Aplicação dos herbicidas utilizados nos tratamentos, separadamente nas suas respectivas parcelas; (B) Arranquio manual das plantas daninhas (nabo, aveia e azevém) do tratamento (II) Testemunha capinada.....	31
Figura 3 – Parcelas experimentais na avaliação de fitointoxicação e eficácia no controle de plantas daninhas aos 8 DAA.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização dos ingredientes ativos dos tratamentos com herbicidas, e suas respectivas doses utilizadas no experimento.....	32
Tabela 2 – Porcentagem de fitointoxicação na cultura do trigo Clearfield®, avaliado aos 8, 16, 25, 35 e 44 DAA (dias após a aplicação) dos herbicidas.....	38
Tabela 3 – Porcentagem de controle das plantas daninhas presentes na parcela experimental, avaliados aos 8, 16, 25, 35 e 44 dias após a aplicação dos tratamentos e herbicidas.....	40
Tabela 4 – Efeito dos herbicidas nos componentes de rendimento e qualidade de grãos na cultura do trigo Clearfield®.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS

cm - Centímetro

cmol_c dm³ - Centimol por decímetro cúbico

g - Gramas

g ha⁻¹ - Gramas por hectare

g/ Kg - Gramas por quilograma

g/ L - Gramas por litro

g/ m² - Gramas por metro quadrado

Kg ha⁻¹ - Quilograma por hectare

Kg hL⁻¹ - Quilograma por hectolitro

m² - Metro quadrado

mg dm³ - Miligrama por decímetro cúbico

ml ha⁻¹ - Mililitro por hectare

m/ v - Massa-volume

LISTA DE SIGLAS

A. C. - Antes de Cristo
ACCase - Acetil-coenzima A carboxilase
ALS - Acetolactato Sintase
Cfa - Clima subtropical, com verão quente
CL - Clearfield®
CTC - Capacidade de troca de cátions
C3 - 3 carbonos = 3-fosfoglicerato
DAA - Dias após a aplicação
DAE - Dias após a emergência
DBC - Delineamento de Blocos Casualizados
DNA - Ácido desoxirribonucleico
EP - Estatura da planta
EPSPs - Enol piruvil shiquimato fosfato sintase
H + Al - Hidrogênio + Alumínio = Acidez total ou potencial
MMG - Massa de mil grãos
MV - Massa verde
NPK - Nitrogênio, fósforo e potássio
PH - Peso do hectolitro
pH - Potencial hidrogeniônico
PMG - Peso de mil grãos
PPO - Protoporfirinogênio oxidase
p.c. - Produto comercial
RS - Rio Grande do Sul
S - Sul
SC - Santa Catarina
SL - Concentrado solúvel
TBIO - Cultivares Biotrigo
W - Oeste
WG - Grânulos dispersíveis em água
XVIII - Algarismo romano que simboliza o número 18

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivo geral.....	15
1.2 Objetivos específicos.....	16
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Cultura do trigo.....	17
2.2 Plantas daninhas e suas influências.....	18
2.2.1 Azevém daninho.....	19
2.2.2 Nabo/ nabiça daninha.....	21
2.3 Controle químico de plantas daninhas na cultura do trigo e seus desafios.....	22
2.4 Resistência de plantas daninhas à herbicidas.....	23
2.5 Herbicidas Inibidores da enzima ALS.....	25
2.5.1 Grupo químico das Imidazolinonas.....	26
2.6 Tecnologia Clearfield® no trigo.....	27
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
6 REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum* sp.) é cultivado há milhares de anos pela humanidade, reconhecido mundialmente por ser um dos principais cereais utilizados na alimentação humana e animal, assim como o arroz, o milho e a aveia. Semelhantemente às outras culturas de importância econômica, segue em constante evolução, adquirindo novas tecnologias de cultivo, agregando produtividade e melhorando qualidade de grãos.

Atualmente, essa cultura de inverno está se destacando na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, região característica de solos hidromórficos onde predomina o cultivo do arroz irrigado. Mas o trigo ganha espaço, tornando-se opção de cultivo de inverno, utilizado na rotação de culturas e valorizado na economia regional.

A safra brasileira de 2023 contou com aumento de 12,3% na área cultivada, indicando 3,47 milhões de hectares, e produção estimada de 8,14 milhões de toneladas, sendo 22,8% menor que na safra 2022, onde o Brasil obteve a safra recorde de produção, alcançando 10.554,4 milhões de toneladas (CONAB, 2023).

Os estados da Região Sul do Brasil são responsáveis por mais de 80% da produção nacional. Com isso, a expectativa inicial da safra 2023 era de correspondente sucesso na produção de grãos de trigo, mas devido às condições meteorológicas nos meses finais do ciclo da cultura não serem favoráveis, houve elevada redução na qualidade dos grãos.

Igualmente a outras culturas, o trigo também sofre limitações fitossanitárias, como a incidência de plantas daninhas. Conforme Galon *et al.* (2019), essa interferência pode reduzir de 18 até 82% a produtividade de grãos do trigo, acarretando no aumento dos custos de produção e reduzindo a margem de lucro dos tricultores.

As plantas daninhas disputam os recursos limitados do ambiente com a cultura do trigo, gerando competição por água, luz, nutrientes, CO₂ e espaço. Além disso, são capazes de liberar substâncias alelopáticas e serem hospedeiras de pragas e doenças, interferindo negativamente no crescimento e desenvolvimento da planta, reduzindo a produtividade e a qualidade dos grãos de trigo.

Segundo Lamego *et al.* (2013), na região Sul do Brasil, as espécies *Lolium multiflorum* (azevém) e *Raphanus spp.* (nabo/ nabiça), destacam-se como as principais plantas daninhas infestantes da cultura do trigo, apresentando maior

incidência nos últimos anos devido à utilização para pastagens de inverno, e cobertura de solos. A *Avena strigosa* (aveia-preta) também tem se destacado, devido possuir características de alta competitividade e difícil controle.

O método mais utilizado pelos agricultores para o manejo de plantas daninhas é o controle químico, pois apresenta rapidez, eficiência, praticidade e menor custo em comparação a outros métodos de controle. No Sul do Brasil os herbicidas mais utilizados em pós-emergência do trigo pertencem principalmente aos inibidores de ACCase (acetil-coenzima A carboxilase) e de ALS (enzima acetolactato sintase).

No qual, os mais indicados para o controle das plantas daninhas na cultura do trigo são os herbicidas inibidores da enzima ALS, entretanto nos últimos anos têm apresentado muitos casos de resistência (HEAP, 2023). A resistência de plantas daninhas aos herbicidas está ligada a elevada pressão de seleção que ocorre em razão das aplicações errôneas de herbicidas de um mesmo mecanismo de ação, também devido a carência de produtos registrados para uso na cultura do trigo, e a escassez da rotação de culturas e de princípios ativos de herbicidas.

As Imidazolinonas são um dos grupos químicos dos herbicidas inibidores da enzima ALS, que controlam um amplo espectro de plantas daninhas, como poáceas, ciperáceas e latifoliadas. Com isso, em 1999 foram incorporadas culturas com a tecnologia Clearfield® (CL), desenvolvidas através da seleção de indivíduos com variabilidade para tolerar o uso de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas.

A tecnologia Clearfield® é recente na cultura do trigo, havendo apenas um herbicida do grupo químico das Imidazolinonas registrado para essas cultivares, o herbicida Imazamoxi, de nome comercial Raptor 70 DG®, que acaba possuindo alta precificação no mercado devido a exclusividade do produto (MAPA, 2024). Desta forma, é factível avaliar a eficiência de outros herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, mas que, no entanto, atualmente não possuem registro para a cultura do trigo Clearfield® (CL).

1.1 Objetivo geral

O objetivo do trabalho foi analisar a seletividade do trigo com a tecnologia Clearfield® e o controle de plantas daninhas com a aplicação de herbicidas do grupo químico das Imidazolinonas em pós emergência.

1.2 Objetivos específicos

Quantificar a fitointoxicação do trigo Clearfield® proporcionado pela aplicação de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas.

Estimar o nível de controle de plantas daninhas da cultura do trigo pela aplicação de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas.

Observar a interferência dos herbicidas nos componentes de produtividade e qualidade dos grãos de trigo.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do trigo

O trigo é um dos cereais mais antigos da história da população humana, seu cultivo iniciou há cerca de 10.000 anos A. C. na Mesopotâmia, chamada Crescente Fértil (ABITRIGO, 2016). Segundo a Embrapa Trigo (2000), os achados arqueológicos indicam que o trigo teria sido o segundo grão cultivado. Desde então, possui globalmente importância econômica e alimentícia, sendo um dos três cereais mais cultivados no mundo, junto ao milho e ao arroz (TAKEITI, 2015).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Trigo (ABITRIGO, 2016), a cultura chegou às terras brasileiras no ano de 1534, trazida por Martim Afonso de Souza. O clima quente atrapalhou a expansão da cultura, que ocorreu somente na metade do século XVIII no Rio Grande do Sul, onde inicialmente se adaptou melhor. Posteriormente, na década de 40, expandiu-se para o estado do Paraná, transformando-se no principal produtor do Brasil.

O trigo faz parte do seleto grupo de *commodities* agrícolas que domina a produção e o comércio mundial atual de grãos (CUNHA *et al.*, 2011). Pertence à família das gramíneas, gênero *Triticum*, com três principais espécies de cultivo, o *Triticum aestivum*, *Triticum durum*, e *Triticum compactum*. A palavra originou-se do termo “*triticum*”, que significa quebrado ou triturado, referindo-se à atividade realizada para separação do grão da casca que o recobre (LEON; ROSELL, 2007). O grão consiste em uma cariopse, ovalado e arredondado nas extremidades, constituído por pericarpo, endosperma e gérmen (GWIRTZ *et al.*, 2014).

A qualidade do grão de trigo pode ser relacionada com o resultado das interações que a planta sofre no campo, como a incidência de pragas e moléstias, manejo da cultura, efeito das condições do solo, clima e cultivar, assim como das operações de colheita, secagem, armazenamento, moagem e das características genéticas (POMERANZ, 1987). A chuva é um dos fatores que provoca redução de qualidade, pois promove a germinação do grão, e segundo Mandarino (1993), os grãos germinados, ou em vias de germinar, apresentam atividade amilásica extremamente elevada, reduzindo a qualidade da farinha produzida, dificultando ou até impedindo o processo de panificação.

Para a qualificação tanto do grão de trigo quanto da farinha proveniente dele há diversos métodos, onde um deles é o peso do hectolitro, que consiste na análise física do grão, sendo a massa de 100 litros de trigo expressa em Kg hL⁻¹. Influenciado por tamanho, densidade, forma e uniformidade do grão, além do teor de matérias estranhas e grãos quebrados da amostra (MIRANDA *et al.*, 2008).

Segundo Boschini (2010), a produtividade de grãos de trigo podem ser obtidas pelo produto de três componentes principais, que são o número de espigas por unidade de área (m²), número de grãos por espiga, e a massa média do grão, onde ambos podem variar independentemente um do outro.

O trigo é um grão de grande importância para a economia brasileira, devido ao elevado consumo de seus derivados, entre eles o pão, macarrão e biscoitos. Entretanto, sofre interferências fitossanitárias que acabam prejudicando a produtividade da cultura, um exemplo é a incidência de plantas daninhas.

2.2 Plantas daninhas e suas influências

A definição de planta daninha é relativa, havendo vários conceitos na literatura, um deles é segundo Lorenzi (2014), que apresenta como “qualquer ser vegetal que cresce onde não é desejado”, podendo interferir direta, e/ou indiretamente nas culturas de interesse agrícola. Um termo utilizado frequentemente é erva daninha, porém, de acordo com Brighenti e Oliveira (2011), deveria ser evitado como termo geral, visto que implica considerá-la como uma planta herbácea, o que não é totalmente correto. Visto que, em torno de 20% das espécies daninhas não são herbáceas, sendo arbustivas, ou até mesmo arbóreas (LORENZI, 1994).

Os prejuízos causados pelas plantas daninhas não podem ser atribuídos apenas à competição com as plantas cultivadas, pois existe um conjunto de pressões ambientais, que podem ser diretas (competição, alelopatia) e/ou indiretas (hospedeiras de pragas e doenças). O efeito integrado dos fatores chama-se interferência, isto é, o conjunto de ações que recebe uma determinada cultura em decorrência da presença da comunidade infestante em um local (PITELLI, 1985).

Quanto à competição entre as plantas cultivadas e as plantas daninhas, os recursos mais comumente sujeitos ao recrutamento pelas espécies são os nutrientes, água e luz (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011). A duração do período de convivência entre as plantas daninhas e a cultura, assim como a época, influenciam

na intensidade da competição. Segundo Brighenti *et al.* (2004), no início do ciclo de desenvolvimento, a cultura e a comunidade infestante podem conviver por determinado período de tempo sem ocorrer impactos danosos à produtividade da espécie cultivada. Contudo, plantas com elevada velocidade de emergência e crescimento inicial possuem prioridade na utilização dos recursos do meio, assim, possuem vantagens na utilização destes (GUSTAFSON *et al.*, 2004).

Entre as espécies de plantas daninhas que ocasionam dano à cultura do trigo, as principais são o azevém (*Lolium multiflorum*), o nabo/ nabiça (*Raphanus raphanistrum* ou *R. sativus*), a aveia-preta (*Avena strigosa*), dentre outras. Essas espécies de plantas daninhas são muito competitivas e de difícil controle (LAMEGO *et al.*, 2013; TAVARES *et al.*, 2019; GALON *et al.*, 2021).

O grau de competição na cultura do trigo varia de acordo com a espécie, densidade populacional, duração da competição, e condições do ambiente, que podem ser favoráveis ou não (SWANTON; WEISE, 1991). A incidência de plantas daninhas é um fator que pode ser limitante para se obter um potencial elevado de produtividade de grãos do trigo, ocasionando dano direto na cultura, quantidade e qualidade do produto colhido (LAMEGO *et al.*, 2013; BARROS; CALADO, 2020).

As perdas na produtividade dos grãos de trigo podem estar relacionadas com a semelhança das características morfológicas das plantas daninhas e das plantas cultivadas, sendo semelhantes as exigências, tornando a competição pelos fatores ambientais intensa (CRALLE *et al.*, 2003; AGOSTINETTO *et al.*, 2008). Lemerle *et al.* (2001) cita que as cultivares de trigo com elevada habilidade competitiva apresentam características como estatura de planta superior, crescimento vigoroso, folhas largas, eficiência no afilamento e cobertura do solo. A estatura de planta superior associada à adequada área foliar da planta cultivada, podem influenciar na habilidade competitiva com as plantas daninhas, reduzindo a penetração da luz no dossel e havendo menores perdas na produtividade de grãos (DUARTE *et al.*, 2002).

2.2.1 Azevém daninho

O *Lolium multiflorum*, conhecido como azevém, é uma monocotiledônea da família Poaceae, de fecundação cruzada, com ciclo anual de 136 a 194 dias para espécies diplóides (VARGAS *et al.*, 2007). Apresenta rusticidade, possuindo folhas

finas adaptadas às baixas temperaturas da região Sul do Brasil, desenvolvendo-se no inverno e na primavera, sendo fotoblástica positiva (KISSMANN, 2007).

O azevém possui adaptabilidade a diversas condições ambientais, é altamente produtivo, com alta capacidade de rebrota e produção de afilhos, suportando pastoreio intensivo, por isso, é considerado uma excelente espécie forrageira (CARÁMBULA, 2007). No Brasil adaptou-se muito bem à região Sul, devido às condições edáficas e climáticas como o inverno, estação com baixa temperatura e alta precipitação, destacando seu potencial produtivo para forragem, com alta capacidade de rebrota e qualidade nutricional, podendo ainda ser utilizado para produção de silagem e feno (RAMOS *et al.*, 2021; TAMAGNO *et al.*, 2022).

Entretanto, em função da facilidade de dispersão e ressemeadura natural, tornou-se uma das principais plantas daninhas em lavouras de inverno da região Sul do Brasil (VARGAS *et al.*, 2007). O azevém também é problema em culturas de verão, como soja e milho, principalmente na fase inicial de desenvolvimento dessas.

O azevém é uma das principais plantas daninhas da cultura do trigo, pertencente da mesma família botânica, ambas as plantas possuem características morfofisiológicas similares, necessitando dos mesmos recursos, e dificultando o controle químico com o uso de herbicidas (AGOSTINETTO *et al.*, 2016), além disso, maximizando a relação de competição entre elas. Conforme Rigoli *et al.* (2008), o azevém na mesma proporção de plantas que o trigo apresenta menor habilidade competitiva. Segundo estudos realizados por Kissmann (2007), uma planta de azevém por metro quadrado diminuiu a produtividade do trigo em 7,5 Kg ha⁻¹, ou a cada Kg ha⁻¹ de matéria seca de azevém pode haver diminuição de 340 g ha⁻¹ na produção da cultura.

Foi verificado por Lamego *et al.* (2015), que a estatura da planta de trigo apresentou-se 36% superior quando submetida à competição com azevém, porém, reduzindo-se o número de perfilhos e o rendimento de grãos, sendo o fator responsável por esse resultado a deficiência luminosa. Além disso, tem-se observado biótipos de azevém resistentes aos herbicidas inibidores das enzimas ALS (acetolactato sintase), ACCase (acetil coenzima - A carboxilase) e EPSPs (Enol piruvil shiquimato fosfato sintase) (HEAP, 2023), sendo esses os principais produtos utilizados para o manejo dessa espécie daninha em lavouras de trigo.

2.2.2 Nabo/ nabiça daninha

O *Raphanus* spp. é conhecido popularmente como nabo ou nabiça, pertence à família Brassicaceae, chamadas genericamente de crucíferas. No mundo está disseminado pelas regiões de clima temperado e subtropical, e no Brasil possui intensidade na Região Sul. Há duas espécies normalmente encontradas, o *Raphanus sativus* e o *R. raphanistrum*, planta daninha comum nos cultivos de inverno na região Sul do Brasil (THEISEN, 2008).

De acordo com Lamego *et al.* (2013), o nabo destaca-se como uma das principais plantas daninhas infestantes da cultura do trigo, tendo a sua incidência aumentada nos últimos anos, possivelmente devido à utilização como cobertura de solo no sistema de plantio direto na palhada, elevando assim o banco de sementes do solo, e dificultando no controle da planta (COSTA; RIZZARDI, 2015; TAVARES *et al.*, 2019).

Costa; Rizzardi (2015) relataram que o nabo possui habilidade competitiva superior à cultura do trigo, e quando presente, resulta em menor potencial produtivo do trigo. Um dos fatores que refletem em menor rendimento de grãos, é a presença de plantas daninhas nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura. Segundo Silva *et al.* (2016), a presença de nabo (*Raphanus raphanistrum* L.) na lavoura de trigo com até 24 dias após a emergência, causa redução na produtividade.

O controle químico das plantas daninhas nas lavouras tritícolas é utilizado usualmente em casos de incidência dessas espécies infestantes, porém o uso repetitivo de produtos químicos têm selecionado plantas daninhas resistentes mundialmente. No ano de 2001, foram observados biótipos de nabo (*Raphanus sativus*) com resistência aos herbicidas do grupo B (inibidores da ALS - Acetolactato Sintase) na cultura do trigo (HEAP, 2023).

Em concordância, Theisen (2004), também identificou um biótipo de *Raphanus sativus* em lavouras de trigo resistente a herbicidas do grupo B, comprovando a existência da resistência cruzada aos herbicidas deste grupo químico, além disso, determinando que o glyphosate, o 2,4-D e o bentazon são alternativas para o manejo dessa planta daninha na cultura do trigo. O *Raphanus* spp. apresenta resistência aos herbicidas chlorimuron-ethyl, cloransulam-methyl, imazethapyr, metsulfuron-methyl e nicosulfuron (HEAP, 2023), reafirmando a resistência cruzada aos diferentes grupos químicos dos inibidores da ALS.

Lamego *et al.* (2013) cita que o surgimento de plantas daninhas resistentes nas lavouras dificulta o manejo, aumentando normalmente os custos de produção, devido à necessidade do uso de herbicidas alternativos, com preços superiores.

Na situação em que as plantas de nabo passam a desenvolver resistência aos herbicidas normalmente utilizados, assim como as plantas de azevém, surge a necessidade de pesquisar novos mecanismos químicos de controle. Também, novas cultivares de trigo são lançadas frequentemente, podendo haver novas tolerâncias aos herbicidas (BALEM *et al.*, 2021).

2.3 Controle químico de plantas daninhas na cultura do trigo e seus desafios

A forma mais utilizada pelos agricultores para manejar as plantas daninhas é através do controle químico, devido a sua eficiência, rapidez, praticidade e menor custo quando comparado aos outros métodos de controle de plantas daninhas (PIASECKI *et al.*, 2017; BALEM *et al.*, 2021).

Segundo Balem *et al.* (2021), no Sul do Brasil os herbicidas utilizados predominantemente em pós-emergência da cultura do trigo pertencem ao grupo dos inibidores de ACCase (inibição da enzima Acetil Coenzima-A Carboxilase) e de ALS (inibição da enzima Acetolactato Sintase). Piasecki *et al.* (2017), acrescenta que, dentre esses herbicidas, os mais recomendados para o controle das plantas daninhas do trigo, e que tem maior disponibilidade, são os inibidores da ALS.

Todavia, ultimamente, estes herbicidas são os que apresentam muitos casos de plantas daninhas resistentes (HEAP, 2023), e em alguns países já há preocupação em relação ao tempo que esses produtos irão ter para efetuar o controle químico de espécies infestantes nas lavouras de trigo (WALSH, 2019).

Além do repetitivo uso dos princípios ativos desses grupos químicos terem resultado no surgimento de plantas daninhas resistentes, e de difícil ou ineficiente controle químico, algumas espécies também adquirem alta habilidade de multiplicação das plantas resistentes, tornando o problema ainda maior. Assim, Mariani *et al.* (2015), estudando o cruzamento genético de azevém resistente ao herbicida Iodosulfuron-methyl (ALS), observaram que a evolução da resistência ocorreu rapidamente na população dessa gramínea.

Piasecki *et al.* (2017) e Walsh (2019), ressaltam que o aumento de casos de resistência de plantas daninhas está ligado à elevada pressão de seleção, devido a

desordenada aplicação de herbicidas de um mesmo mecanismo de ação, a falta de rotação de princípios ativos, assim como a rotação de culturas, e também, a escassez de alternativas de produtos registrados para uso na cultura do trigo.

A aplicação de herbicidas nas culturas pode causar efeitos diretos ou indiretos nas plantas, provocando alterações nos processos fisiológicos e metabólicos, causando intoxicação, oxidação celular, desregulação dos mecanismos de defesa, alterações na absorção de nutrientes, entre outros (AGOSTINETTO *et al.*, 2016; BARI *et al.*, 2020; TAMAGNO *et al.*, 2022).

Dessa forma, os herbicidas podem provocar interferências negativas sobre os componentes do rendimento de grãos das culturas, não apresentando eficácia no controle de plantas daninhas, ou também, causando impactos negativos aos agros ecossistemas, quando utilizados de modo incorreto (TAVARES *et al.*, 2018; BARI *et al.*, 2020; ZAKARIYYA *et al.*, 2022). Galon *et al.* (2023), cita que a associação do uso de herbicidas pré-emergentes e pós-emergentes melhora o controle de plantas daninhas na cultura do trigo.

2.4 Resistência de plantas daninhas à herbicidas

O uso repetitivo de uma mesma molécula de herbicida por muitos anos, resulta na redução da população suscetível de uma determinada espécie a esse herbicida, à medida que ocorre o aumento da frequência de biótipos resistentes (CHRISTOFFOLETI; NICOLAI, 2016). Segundo Bahar *et al.* (2013), a frequência da presença de genes que conferem a resistência de uma espécie a um determinado herbicida, está diretamente correlacionada com o período de tempo necessário para que se possa observar a presença de biótipos resistentes no local.

Certamente a resistência de plantas daninhas a herbicidas é o maior desafio enfrentado pela Ciência das Plantas Daninhas atualmente, onde alguns mecanismos de ação possuem mais problemas que outros. O maior número de casos de biótipos resistentes é encontrado no mecanismo de ação dos inibidores da ALS (Grupo B), certamente relacionado ao maior uso do herbicida na agricultura, mas de certa forma, alguns mecanismos de ação tem a tendência de selecionarem com mais facilidade plantas daninhas resistentes que outros. Devido a isto, deve-se tomar cuidado no manejo com os herbicidas inibidores da ALS (Grupo B), e também,

herbicidas inibidores da ACCase (Grupo A), pois parecem ser os grupos de maiores riscos (CHRISTOFFOLETI; NICOLAI, 2016).

Há pelo menos três formas que pode-se explicar o desenvolvimento dos mecanismos de resistência de plantas daninhas a herbicidas, são elas: a metabolização ou desintoxicação do herbicida a substâncias menos fitotóxicas, a redução da concentração do herbicida no sítio de ação, e a perda de afinidade do herbicida pelo local de ação na enzima (LÓPEZ-OVEJERO *et al.*, 2004).

A dispersão da resistência de uma população resistente para outra suscetível, vizinha ou próxima, pode ser acelerada pelo fluxo gênico, no caso de espécies alógamas, a dominância dos genes viabiliza a rápida dispersão da característica entre populações a cada geração (CHARLESWORTH, 1992; JAMES, 1965).

Nessas espécies alógamas, como o azevém e o nabo, existe maior probabilidade de ocorrer múltiplos mecanismos de resistência, pois a polinização cruzada permite maior recombinação gênica (CHARLESWORTH, 1992).

Dispõem-se em lavouras tritícolas de alguns herbicidas para o controle de plantas daninhas, até então seletivos e eficientes. Porém, algumas das principais espécies de plantas daninhas da cultura do trigo já constataram casos de resistência aos inibidores da ACCase ou da ALS. São exemplos a resistência de azevém aos inibidores da ACCase e às sulfoniluréias (ALS), com casos de resistência múltipla ao glyphosate (EPSPS), ainda, a resistência cruzada de nabo/ nabiça aos inibidores da ALS (sulfoniluréias e imidazolinonas) (HEAP, 2023; CECHIN *et al.*, 2017).

A resistência aos herbicidas inibidores de ALS é causada por mutações que ocorrem no DNA e no metabolismo da molécula herbicida. Quanto à resistência aos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas e sulfoniluréias (inibidores da ALS), é conferida por um gene dominante nuclear (MAZUR; FALCO, 1989; SAARI *et al.*, 1994). Shaner (1991), relatou que nos biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas inibidores da ALS o mecanismo de resistência corresponde à alteração do gene responsável pela codificação da ALS.

Christoffoli *et al.* (1997) e Vargas *et al.* (1999), observaram no picão-preto (*Bidens pilosa*) e no leiteiro (*Euphorbia heterophylla*) resistentes a herbicidas inibidores da ALS no Brasil, que a sequência de aminoácidos da enzima ALS é alterada de uma forma que os herbicidas não conseguem mais provocar a inibição não competitiva, desse modo, a planta resistente produz os aminoácidos alifáticos

de cadeia lateral mesmo na presença do herbicida no local de ação, representando a perda da afinidade do herbicida pelo local de ação da enzima.

Segundo Mallory-Smith *et al.* (1990), a herdabilidade do alelo que confere resistência aos herbicidas inibidores da ALS é uma característica semidominante, permitindo a sobrevivência de indivíduos homocigotos e heterocigotos, sendo possível também a disseminação por meio dos grãos de pólen e sementes, maximizando o fluxo gênico que confere resistência para áreas adjacentes.

2.5 Herbicidas Inibidores da enzima ALS

Os herbicidas inibidores da enzima ALS constituem um dos grupos de herbicidas mais importantes comercializados atualmente (OLIVEIRA JR., 2011), eles ganharam destaque na agricultura, aumentando a utilização gradativamente devido à elevada eficácia agrônômica no controle de diversas espécies, às baixas doses que são recomendadas para aplicação, à seletividade à várias culturas, e à baixa toxicidade aos mamíferos (MONQUERO *et al.*, 2000).

Segundo Saari *et al.* (1994), os herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS) foram introduzidos no mercado em 1982, com o lançamento da molécula chlorsulfuron, para uso em cereais. Os herbicidas inibidores da ALS promovem a inibição da síntese dos aminoácidos ramificados (leucina, isoleucina e valina), por meio da inibição da enzima Acetolactato Sintase (ALS), interrompendo a síntese protéica que, por sua vez, interfere na síntese do DNA e no crescimento celular da planta (ROMAN *et al.*, 2005).

Trezzi; Vidal (2001) relatam, também, que os herbicidas pertencentes aos grupos dos inibidores da ALS apresentam como mecanismo de ação a inibição da síntese dos aminoácidos alifáticos de cadeia lateral, valina, leucina e isoleucina. A via biossintética desses aminoácidos apresenta igualmente o uso da enzima ALS, que participa da fase inicial do processo metabólico, catalisando uma reação de condensação (CHRISTOFFOLETI *et al.*, 2001).

Os herbicidas inibidores da ALS impedem que ocorra essa reação de condensação, provocando, conseqüentemente, o bloqueio na produção dos aminoácidos alifáticos de cadeia lateral. Esses herbicidas podem ser utilizados em pré e pós-emergência, com vias de absorção radicular e foliar, pois há ingredientes

ativos com translocação pelo xilema e floema, acumulando-se nos meristemas de crescimento (CHRISTOFFOLETI; NICOLAI, 2016).

Os sintomas causados pela ação destes herbicidas caracterizam-se pela clorose das folhas novas, e a necrose dos tecidos, ocorrendo entre sete e quatorze dias após a aplicação, mesmo que, a interrupção no crescimento das plantas e a morte das regiões meristemáticas ocorram logo após a aplicação (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

A utilização inadequada desses herbicidas resultou no aparecimento de 159 plantas daninhas resistentes aos inibidores da ALS, correspondendo a mais de 30% de todos os casos do mundo, onde dezoito ocorrem no Brasil (HEAP, 2023).

Rodrigues; Almeida (2011) relatam que no Brasil as moléculas de herbicidas classificadas no grupo B (inibidores da ALS) possuem 21 ingredientes ativos de uso agrícola e não-agrícola, compondo mais de 30 produtos e misturas comerciais.

Os herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS), ou também, aceto hidroxilactato sintase (AHAS), pertencem a 7 grupos químicos, que são as sulfoniluréias, triazolopirimidinas (tipo 1 e tipo 2), pirimidinil benzoatos, sulfonanilida, triazolinonas e as imidazolinonas (HRAC, 2024).

2.5.1 Grupo químico das Imidazolinonas

Os cientistas da American Cyanamid Company, durante a década de 70, descobriram a classe de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas. Devido a versatilidade, segurança ambiental e baixa toxicidade, tornou-se usual em diversas culturas com finalidades alimentícias e para produção de fibras. Esses herbicidas são efetivos em doses muito baixas ($<0,15 \text{ Kg ha}^{-1}$), além da maioria serem altamente seletivos e possuem largo espectro de ação em folhas largas de ciclo anual, apresentando incompatibilidade para misturas em tanque com 2,4-D (OLIVEIRA JR., 2011).

Possivelmente, as imidazolinonas possuem baixo potencial toxicológico para os animais por atuarem na inibição de um processo biossintético num sítio presente somente em plantas (OLIVEIRA JR., 2011).

A persistência no solo das imidazolinonas é influenciada pelo grau de sorção ao solo, temperatura, umidade, e exposição solar (RENNER *et al.*, 1988; MANGELS, 1991). O grau de sorção ao solo aumenta conforme a elevação do teor de matéria

orgânica e a redução do pH (LOUX *et al.*, 1989), e com o teor de argila e hidróxidos de alumínio e ferro presentes (O'BRYAN *et al.*, 1994).

De acordo com a sua persistência no solo, os herbicidas deste grupo químico que são utilizados na soja apresentam restrições quanto à semeadura de algumas culturas de “safrinha” em rotações com a soja (SILVA *et al.*, 1999; OLIVEIRA JR.; 2001; DAN *et al.*, 2010). Conforme a bula, recomenda-se que não seja cultivado milho “safrinha” após ser utilizado imidazolinonas, principalmente o imazaquin, após sua utilização em soja no verão (safra).

Em plantas suscetíveis, o modo de ação das imidazolinonas ocorre através da paralisação do crescimento, aparecimento de clorose internerval ou arroxamento foliar entre 7 a 10 dias após a aplicação dos produtos, inibição no crescimento de raízes laterais quando houver resíduos de produto no solo, e folhas em emergência podem apresentar manchas ou má formação. Em folhas largas, geralmente, no meristema apical ocorre a necrose e a morte, antes mesmo que as partes mais velhas da planta (OLIVEIRA JR., 2011).

Dentre os ingredientes ativos comercializados neste grupo, pode-se citar o Imazamox, Imazapyr, Imazaquin, Imazapic, Imazethapyr e o Imazametabenz-metil (OLIVEIRA JR., 2011; HRAC, 2024).

2.6 Tecnologia Clearfield® no trigo

Em 2019 ocorreu o lançamento da primeira cultivar de trigo com a tecnologia Clearfield® (CL) no Brasil, o TBIO Capricho CL, logo no próximo ano, a Biotrigo Genética lança a segunda cultivar do portfólio, o TBIO Ello CL, prometendo maior potencial de rendimento entre as cultivares CL (BIOTRIGO, 2023).

A tecnologia Clearfield® confere ao trigo tolerância ao herbicida imazamoxi, do grupo químico das imidazolinonas. Em países produtores de trigo, como Canadá e Austrália, a tecnologia já era utilizada. Ela não se trata de um processo de transgenia, mas sim de uma mutação induzida no gene ALS, que proporciona seletividade ao herbicida imazamoxi (DALAZEN, 2020).

Com o uso da tecnologia Clearfield® pode ser realizado o controle de biótipos de azevém resistentes ao glifosato, aos inibidores da ACCase (graminícidas) e inibidores da ALS, visto que o azevém é caracterizado como uma das principais plantas daninhas da cultura do trigo.

A mutação que ocorre no gene ALS resultante da resistência ao iodosulfuron-methyl (grupo químico das sulfoniluréias) nem sempre resulta em resistência às imidazolinonas (imazamoxi), devido a isso, o azevém resistente aos inibidores da ALS são controlados com o herbicida imazamoxi (DALAZEN, 2020)

As populações de azevém e nabiça com o mecanismo de resistência conhecido, mostram que a mutação ocorre na posição Prolina 197 do gene ALS. Esse é um aminoácido importante para a ligação das sulfoniluréias na enzima ALS, e menos importante para a ligação dos herbicidas imidazolinonas (POWLES; YU, 2010; HEAP, 2023). Assim, as plantas que apresentam resistência às sulfoniluréias em decorrência dessa mutação podem ser controladas com herbicida do grupo químico das imidazolinonas.

Segundo Cechin *et al.* (2017), o nabo diferencia-se do azevém, devido às mutações encontradas nos biótipos resistentes (Triptofano 574) conferirem resistência tanto às sulfoniluréias quanto às imidazolinonas.

Para evitar a seleção de plantas daninhas resistentes à ALS e manter a eficiência da tecnologia Clearfield®, é necessário realizar a rotação de cultivares, além de outras práticas disponíveis na publicação “Indicações de uso e boas práticas de manejo da tecnologia Clearfield® em canola para as regiões Sul e Centro-Oeste” (DURIGON *et al.*, 2016).

Recomenda-se que seja realizado o planejamento do uso da tecnologia na propriedade, e assim como citado anteriormente, rotacione-a com outras cultivares convencionais. Giliardi Dalazen faz recomendações a respeito do uso da tecnologia: “É importante que essa cultivar seja introduzida num cronograma de rotação de cultivares, utilizando-a em 25 a 33% da área cultivada com trigo a cada ano, sem repeti-la na mesma área no ano seguinte. Assim, se dificulta a seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes ao herbicida utilizado, prolongando a vida útil da tecnologia”, alerta o professor à assessoria de Imprensa Biotrigo no Show Rural Coopavel 2019.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido na área experimental da Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, localizada na cidade de Itaqui-RS, na safra de inverno do ano de 2023, durante os meses de julho à outubro. As coordenadas geográficas de localização da área experimental são: latitude $-29^{\circ}16'$ S; longitude $56^{\circ}55'$ W; e, altitude média de 74 metros acima do nível do mar. O clima é do tipo Cfa, conforme a classificação climática de Köppen, isto é, clima subtropical sem estação seca definida, com verões quentes.

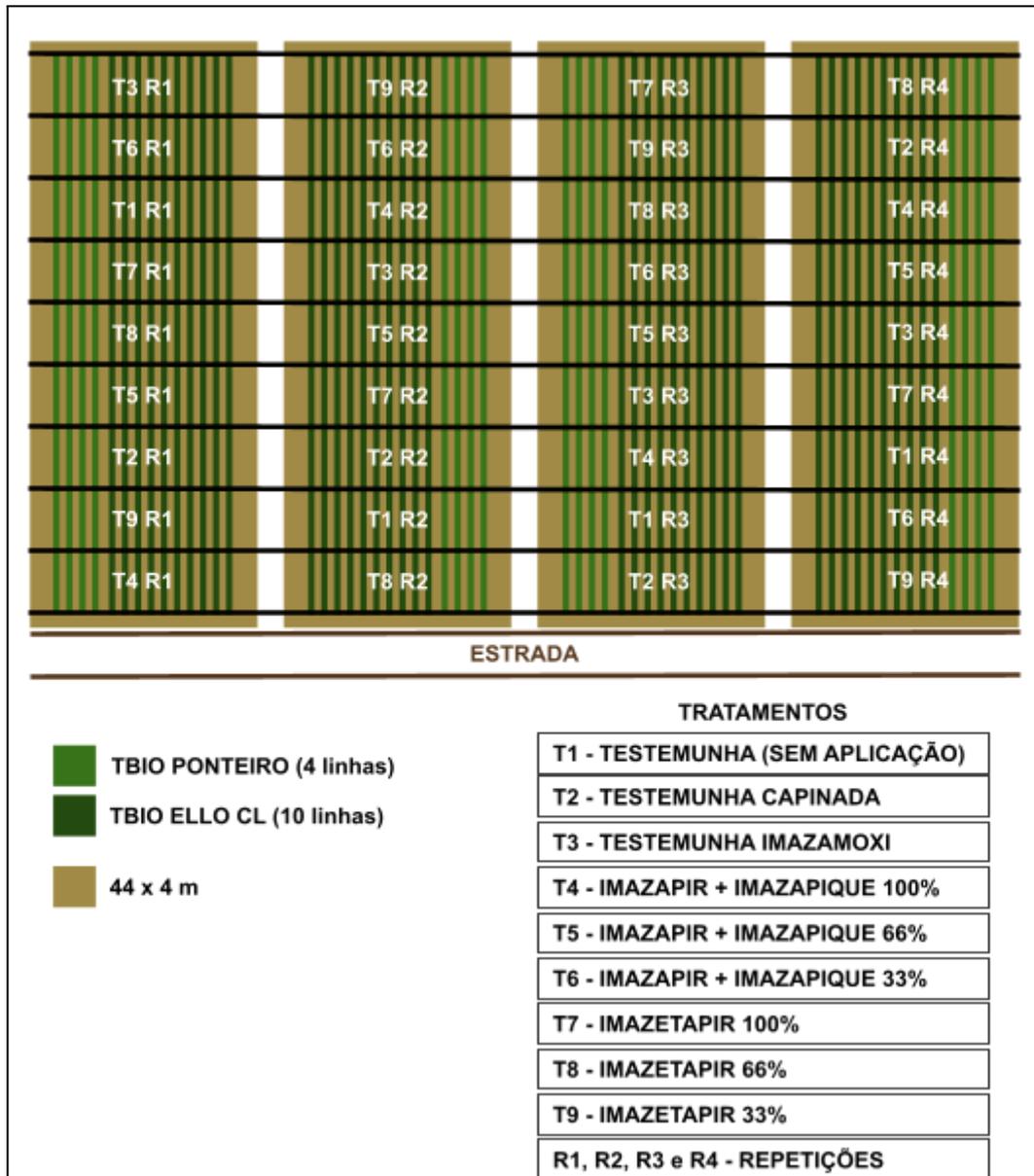
O solo do local é classificado como Plintossolo Argilúvico Distrófico (EMBRAPA, 2018), possuindo uma camada subsuperficial praticamente impermeável. Devido a isso, apresenta alta densidade natural e baixa porosidade, além de deficiência na drenagem e permeabilidade da água no solo.

Dessa forma, para instalação do experimento foram confeccionados drenos laterais, visando evitar o encharcamento do solo, principalmente em casos de precipitações intensas. Com a criação desses drenos, formou-se quatro blocos de 4 metros de largura, abrangendo 44 metros de comprimento, onde foram dispostas as unidades experimentais.

Previamente à instalação do experimento, efetuou-se a amostragem do solo, onde foram retiradas amostras de 0 a 20 cm de profundidade, conforme recomendações técnicas do Manual de Calagem e Adubação para os estados do RS e SC. Logo, encaminhadas para análise em laboratório autorizado com selo de qualidade ROLAS (Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina), obtendo-se os seguintes resultados: pH (água, 1:1) = 5,3; Matéria orgânica (% m/v) = 0,9; Argila (% m/v) = 24,0; Fósforo, P-Mehlich (mg dm^{-3}) = 3,5; Potássio (mg dm^{-3}) = 36,0; H + Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) = 3,9; CTC (pH 7, $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) = 10,5; e, Saturação de bases (%) = 62,8.

O delineamento experimental foi do tipo DBC (delineamento de blocos casualizados), contendo 9 tratamentos com 4 repetições, totalizando 36 parcelas experimentais de tamanho igual a $15,75 \text{ m}^2$ cada. A distribuição dos tratamentos nas parcelas experimentais foi realizada através de sorteio, objetivando um arranjo aleatório dos tratamentos, conforme croqui da Figura 1.

Figura 1 - Croqui da área experimental contendo a distribuição dos tratamentos, repetições e dimensões da área, alocação dos canteiros e cultivares.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para garantir a presença de plantas daninhas na área experimental, visando simular uma possível infestação remanescente do banco de sementes do solo, foi realizada uma mistura representativa de 1 g/m² de azevém e 0,5 g/m² de nabo e de aveia preta, semeados a lanço no dia 05 de julho de 2023. Em sequência houve a semeadura da cultura do trigo, onde foi utilizada uma semeadora mecânica de 14 linhas, sendo 10 linhas semeadas com a cultivar TBIO Ello CL (Clearfield®), e 4 linhas com a cultivar TBIO Ponteiro (convencional, sem biotecnologia),

simultaneamente, obtendo-se assim, um lado a lado das cultivares de trigo utilizadas.

Na semeadura do trigo a densidade de sementes utilizada foi de 80 Kg ha⁻¹, de ambas as cultivares, com espaçamento de 17 cm entre linhas. Juntamente à semeadura foi realizada a adubação de base, com 350 Kg ha⁻¹ de adubo mineral (NPK 05-20-20).

Aos 40 dias após a semeadura da cultura, foi realizada a aplicação dos tratamentos (Figura 2). Com o auxílio de um pulverizador costal pressurizado por CO₂ foi realizada a aplicação dos herbicidas, com volume de calda de 200 L ha⁻¹, e utilização de ponta tipo leque, evitando deriva para as demais parcelas experimentais.

Figura 2 - (A) Aplicação dos herbicidas utilizados nos tratamentos, separadamente nas suas respectivas parcelas; (B) Arranquio manual das plantas daninhas (nabo, aveia e azevém) do tratamento (II) Testemunha capinada.



Fonte: A autora (2023).

Para os tratamentos foram utilizados dois herbicidas que não possuem registro para a cultura do trigo com a tecnologia Clearfield®, o Imazapir + Imazapique e o Imazetapir. Porém, esses herbicidas são recomendados e registrados para a cultura do arroz irrigado com a tecnologia CL®. Com o princípio

de ambas as culturas possuírem a mesma tecnologia, foi utilizado as doses recomendadas em bula para a cultura do arroz irrigado CL®.

Desse modo, o herbicida Imazapir + Imazapique refere-se ao produto comercial Kifix®, que possui formulação WG (grânulos dispersíveis em água), concentração de ingrediente ativo (i.a.) igual a respectivos 525 + 175 g/Kg, onde foi utilizado com a dose de 140 g de p.c. ha⁻¹. Já o herbicida Imazetapir, consiste no produto comercial Imazetapir Nortox®, sua formulação é SL (concentrado solúvel), concentração de i.a. igual a 200 g/L, utilizado com a dose de 500 mL de p.c. ha⁻¹. Ambos os produtos foram aplicados em três doses, a dose de 100%, 66% e 33% da dose máxima recomendada em bula para a cultura do arroz irrigado com a tecnologia Clearfield®. Na Tabela 1 observamos a quantidade de ingredientes ativos por hectare utilizados em cada tratamento deste experimento, juntamente com a caracterização dos tratamentos herbicidas.

Tabela 1 - Caracterização dos ingredientes ativos dos tratamentos com herbicidas, e suas respectivas doses utilizadas no experimento.

Tratamentos	Ingrediente ativo	Dose utilizada (g i.a. ha ⁻¹)
T3	Imazamoxi	91
T4	Imazapir + Imazapique (100%)	73,5 + 24,5
T5	Imazapir + Imazapique (66%)	48,5 + 16,2
T6	Imazapir + Imazapique (33%)	24,3 + 8,1
T7	Imazetapir (100%)	100
T8	Imazetapir (66%)	66
T9	Imazetapir (33%)	33

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Além desses, também foi aplicado o herbicida Imazamoxi (WG), de nome comercial Raptor™ 70 DG®, única molécula de herbicida do grupo químico das imidazolinonas registrado para a cultura do trigo CL®, sendo utilizado na dose de 130 g de p.c. ha⁻¹, conforme indicado em bula, representando uma das testemunhas do experimento. Os herbicidas foram aplicados sem a utilização de óleo.

O experimento contou com três testemunhas, sendo elas: (I) Testemunha sem aplicação de produtos; (II) Testemunha capinada; e, (III) Testemunha com controle químico, onde foi utilizado o herbicida registrado Imazamoxi.

A capina do tratamento (II) Testemunha capinada, ocorreu simultaneamente à aplicação dos herbicidas nas parcelas experimentais, realizada através do arranquio manual das plantas de nabo, azevem e aveia preta, consideradas as plantas daninhas do experimento (Figura 2 - B).

Logo após o arranquio das plantas, com o objetivo de verificar a distribuição uniforme das sementes na semeadura a lanço, ocorreu a pesagem da massa verde (MV) das plantas daninhas de cada uma das repetições. Obtendo-se pesos similares, com média de 6,431 Kg de MV de plantas daninhas nas parcelas do tratamento (II) Testemunha capinada, representando ótima distribuição realizada na semeadura a lanço, garantindo representatividade entre as parcelas experimentais.

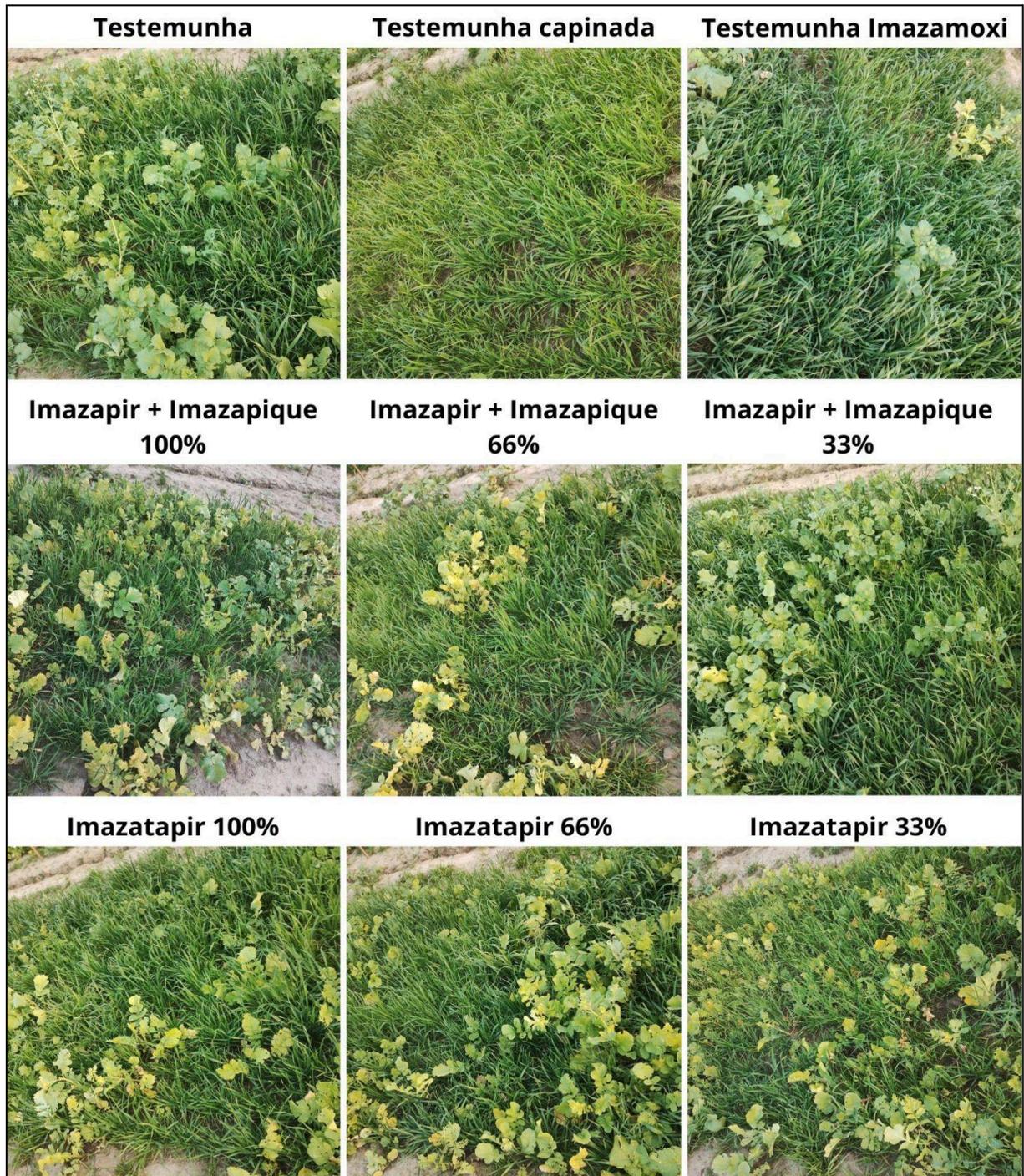
O trigo foi conduzido conforme as recomendações técnicas para a cultura, efetuando-se adubações nitrogenadas e monitoramentos constantes de pragas. Assim, quando necessário, foi aplicado fungicidas e inseticidas com os produtos recomendados para a cultura do trigo.

Simultaneamente ao monitoramento, foram realizadas as avaliações do experimento, que consistiu na mensuração visual de: (I) seletividade dos herbicidas aplicados, baseado na fitointoxicação da cultura do trigo CL®, comparativamente aos tratamentos sem aplicação, bem como, no trigo que não possui a tecnologia CL; e, (II) eficácia no controle das plantas daninhas, comparativamente ao tratamento Testemunha, onde não foi realizado o controle.

Ambas as avaliações ocorreram aos 8, 16, 25, 35 e 44 DAA (dias após a aplicação), totalizando cinco avaliações de fitointoxicação na cultura do trigo, e igualmente, cinco avaliações do controle das plantas daninhas presentes nas parcelas. Estas seguiram um diagrama de notas, expressas em porcentagem, escalas de 0 a 100%, correspondendo a ausência de injúria e a morte das plantas, respectivamente. A escala de notas foi baseada no adaptado de SBCPD (1995).

Na figura 3 observa-se imagens das parcelas experimentais na avaliação dos 8 DAA, apresentando os sintomas de fitointoxicação nas plantas de trigo, e os sinais de controle nas plantas daninhas, como amarelamento, senescência, clorose e necrose dos tecidos, entre outros.

Figura 3 - Parcelas experimentais na avaliação de fitointoxicação e eficácia no controle de plantas daninhas aos 8 DAA.



Fonte: A autora (2023).

Também, sucederam-se análises para verificar a possibilidade de interferência dos herbicidas utilizados na produtividade de grãos de trigo, da mesma forma, quanto à respectiva qualidade dos grãos.

Com isso, na segunda quinzena do mês de outubro, aproximadamente na maturação da cultura do trigo, entre os estádios fenológicos 9.1 e 9.2 (Zadoks *et al.*, 1947), foi realizada a dessecação pré-colheita com o herbicida Glufosinato de amônio, visando a uniformização do ponto de colheita. Principalmente, devido às espigas do trigo ainda apresentarem-se verdes, mesmo os grãos estando maduros. Evitando assim, maiores perdas de grãos em razão das condições meteorológicas desfavoráveis.

Após a dessecação das parcelas experimentais, foi realizada a colheita de 3 m² de cada tratamento do experimento, efetuada manualmente com o auxílio de uma foice. Sucedida pela trilhagem dos grãos, que foi realizada em trilhadeira mecânica. A trilhadeira consiste em uma máquina que realiza o beneficiamento dos grãos, ou seja, a remoção dos grãos de suas espigas.

Posteriormente, as amostras dos grãos foram separadas para limpeza, conforme os tratamentos utilizados. Primeiramente, as amostras de trigo foram limpas com a utilização de um ventilador, para eliminar a palhada restante na amostra pós trilha e, posteriormente, foram limpas por meio do uso de um soprador elétrico adaptado, para descarte das impurezas e materiais estranhos das amostras de grãos.

As amostras foram pesadas, contadas e separadas em quantidades determinadas para estimar o MMG (massa de mil grãos, g) e a produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹), sendo a umidade aferida através de um medidor de umidade de grãos elétrico, modelo Gehaka G600[®]. E para verificar o peso hectolítrico (PH, kg hL⁻¹) dos grãos de trigo de cada amostra dos tratamentos, foi utilizado um kit PH Schopper, que dispõem de uma tabela de conversão para cada tipo de grão, disponível no manual de operação da Motomco[®] Group.

A limpeza, pesagem, contagem, aferição de umidade e PH dos grãos de trigo foram determinados em laboratório, sendo utilizada a média de dez espigas para as avaliações de contagem, e realizadas no mínimo três repetições das medições de umidade e PH. Já a contagem do número de espigas (N^o ESP m²) e a estatura das plantas (EP, m), foram avaliados a campo com o auxílio de uma fita métrica, onde foi realizada a medição da estatura de 10 plantas, da superfície do solo até à ponta da espiga do colmo mais alto, e o número de espigas por m², contadas em 0,5 m² e convertido para 1 m².

Os dados foram previamente analisados quanto à aderência aos pressupostos modelos matemáticos. Procedeu-se a análise de variância [teste F ($p \leq 0,05$)], desdobrando os graus de liberdade dos tratamentos com herbicidas imidazolinonas *versus* cada uma das três testemunhas por meio de análise de contraste [Scheffé ($p \leq 0,05$)]. E em continuidade, foi realizado o teste de agrupamentos de médias [Scott-Knott ($p \leq 0,05$)] aplicado para os tratamentos com herbicidas. Ambos realizados com o auxílio de softwares.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o propósito de identificar a seletividade do trigo Clearfield® aos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, foi avaliada visualmente a variável de fitointoxicação na cultura. Como esperado, os tratamentos Testemunha zero e Testemunha capinada (aqueles em que não houve aplicação de herbicidas), apresentaram fitointoxicação igual a 0% em todos os dias avaliados, servindo de parâmetro para as comparações com os demais tratamentos onde foram utilizados herbicidas.

Os tratamentos herbicidas utilizados, incluindo o tratamento com o herbicida recomendado para a cultura do trigo CL® (tratamento Testemunha Imazamoxi), apresentaram uma pequena porcentagem de fitointoxicação em alguns dos dias avaliados, em relação aos tratamentos testemunhas em que não houve aplicações de herbicidas. Ray (1984) cita que os herbicidas inibidores da ALS interrompem o crescimento meristemático da planta logo após a aplicação do produto. Sendo assim, é provável que as plantas com porte menor não conseguem absorver água no solo, agravando os sintomas de intoxicação. Logo, entende-se que quando aplicado um herbicida inibidor da enzima ALS, este causará alguma injúria na planta, sendo ela suscetível ou não.

Os três tratamentos testemunhas foram desdobrados em contrastes [Scheffé ($p \leq 0,05$)], não apresentando significância estatística para a variável fitointoxicação, exceto aos 25 DAA, tanto para a Testemunha (sem aplicação) e Testemunha capinada (Tabela 2).

Tabela 2 - Porcentagem de fitointoxicação na cultura do trigo Clearfield®, avaliado aos 8, 16, 25, 35 e 44 DAA (dias após a aplicação) dos herbicidas.

Tratamentos	Fitointoxicação(%)				
	8 DAA	16 DAA	25 DAA	35 DAA	44 DAA
Testemunha (sem aplicação)	0,0 ^{ns(-15,2)}	0,0 ^{ns(-10,2)}	0,0 ^{*(-16,6)}	0,0 ^{ns(-9,7)}	0,0 ^{ns(-3,3)}
Testemunha capinada	0,0 ^{ns(-15,2)}	0,0 ^{ns(-10,2)}	0,0 ^{*(-16,6)}	0,0 ^{ns(-9,7)}	0,0 ^{ns(-3,3)}
Testemunha Imazamoxi	5,0 ^{ns(-10,2)}	0,0 ^{ns(-10,2)}	2,5 ^{ns(-14,1)}	0,0 ^{ns(-9,7)}	0,0 ^{ns(-3,3)}
Imazapir + Imazapique 100%	32,5 ^{ns}	22,5 ^{ns}	23,8 ^b	6,3 ^a	0,0 ^{ns}
Imazapir + Imazapique 66%	18,8	6,3	18,8 ^b	3,8 ^a	0,0
Imazapir + Imazapique 33%	0,0	10,0	3,8 ^a	3,8 ^a	0,0
Imazetapir 100%	7,5	0,0	15,8 ^b	3,8 ^a	0,0
Imazetapir 66%	15,0	11,3	16,3 ^b	12,0 ^a	6,3
Imazetapir 33%	17,5	11,3	21,3 ^b	28,8 ^b	13,8
Média geral	10,7	6,8	11,3	6,5	2,2
CV (%)	123,0	138,6	62,0	144,8	315,1

Médias obtidas nos tratamentos testemunhas (três primeiras linhas), sobrescrito são informados a significância e o valor da estimativa do contraste [Scheffé ($p \leq 0,05$)], onde valores positivos são favoráveis às testemunhas e negativos são favoráveis aos tratamentos com herbicidas imidazolinonas; médias obtidas nos tratamentos com herbicidas imidazolinonas (4^a a 9^a linha) seguidas com letras que, quando distintas na coluna diferem entre si [Scott-Knott ($p \leq 0,05$)]; *significativo, ^{ns} não significativo; (CV) coeficiente de variação.

A diferença estatística que ocorreu aos 25 DAA refere-se unicamente ao tratamento Imazapir + Imazapique 33%, que apresentou fitointoxicação máxima de 10% aos 16 DAA. Quando a planta sofre fitointoxicação, essa desencadeia mecanismos de defesa, ocorrendo maior gasto de energia, para assim, conseguir metabolizar o herbicida, conseqüentemente, emitindo novas folhas livres de fitotoxicidade (AGOSTINETTO *et al.*, 2016; RAJ *et al.*, 2020; TAMAGNO *et al.*, 2022). É possível que este herbicida tenha sido rapidamente metabolizado pelas plantas de trigo CL®, promovendo uma fitointoxicação muito pequena, quase inexistente, semelhante aos tratamentos Testemunhas onde não foi aplicado o herbicida.

Já aos 35 DAA a diferença estatística está relacionada às altas porcentagens de fitointoxicação causadas pelos tratamentos com o herbicida Imazetapir. Quando a cultura não consegue realizar a metabolização ou a degradação do herbicida, de modo a mitigar efeitos tóxicos, a resposta é a elevada fitotoxicidade da planta (PIASECKI *et al.*, 2017; RAJ *et al.*, 2020; CORREIA; CARVALHO, 2021).

O tratamento Imazapir + Imazapique 100% apresentou as maiores porcentagens de fitointoxicação nos primeiros dias de avaliação. Porém, com o passar do tempo o trigo demonstrou capacidade de metabolizar os sintomas de injúrias provocados pelo herbicida, assim como constatado por Piasecki *et al.* (2017).

Os tratamentos herbicidas Imazapir + Imazapique e Imazetapir apresentaram elevação na variável de fitointoxicação a partir dos 16 DAA até os 25 DAA, quando então começou uma redução. A fitotoxicidade das plantas afetadas pelos herbicidas inibidores da ALS decorrem lentamente (Rodrigues; Almeida, 2005). A cultura seletiva pode sofrer injúrias em decorrência da aplicação dos herbicidas, porém seu metabolismo pode superar a fitotoxicidade do produto retornando ao metabolismo inicial, conseqüentemente, não ocorrendo interferências negativas no crescimento e desenvolvimento das plantas (AGOSTINETTO *et al.*, 2016; PIASECKI *et al.*, 2017; TAMAGNO *et al.*, 2022), ou até mesmo, nos componentes de rendimento (ZAKARIYYA *et al.*, 2022). Contudo, mediante a análise visual podemos inferir que os tratamentos onde foram utilizados os herbicidas Imazapir + Imazapique e Imazetapir resultaram em ocorrências de fitointoxicação classificadas como leves, não atingindo nível preocupante.

A variável eficácia no controle de plantas daninhas, também mensurada visualmente, foi avaliada através da comparação com o tratamento Testemunha (sem aplicação). Como esperado, não ocorreu o controle das plantas daninhas, havendo alta pressão das espécies infestantes nas parcelas experimentais, servindo como parâmetro comparativo para os testes herbicidas. Os tratamentos testemunhas quando desdobrados em contrastes [Scheffé ($p \leq 0,05$)] apresentaram significância estatística para os tratamentos Testemunha (sem aplicação) em todos os períodos de avaliação, sendo favoráveis aos controles químicos com herbicidas. Já para a Testemunha capinada foi significativo quando considerados os 8, 16 e 25 DAA, e Testemunha Imazamoxi quando considerados apenas os 8 e 16 DAA (Tabela

3). Nas duas últimas comparações, a porcentagem de controle foi favorável às testemunhas (capinada e Imazamoxi).

Tabela 3 - Porcentagem de controle das plantas daninhas presentes na parcela experimental, avaliados aos 8, 16, 25, 35 e 44 dias após a aplicação dos tratamentos e herbicidas.

Tratamentos	Controle (%)				
	8 DAA	16 DAA	25 DAA	35 DAA	44 DAA
Testemunha (sem aplicação)	0,0 ^{*(-49,6)}	0,0 ^{*(-64,6)}	0,0 ^{*(-75,7)}	0,0 ^{*(-83,3)}	0,0 ^{*(-83,6)}
Testemunha capinada	100,0 ^{*(50,4)}	100,0 ^{*(35,4)}	100,0 ^{*(24,3)}	100,0 ^{ns(16,7)}	100,0 ^{ns(16,4)}
Testemunha Imazamoxi	87,5 ^{*(37,9)}	92,8 ^{*(28,2)}	94,6 ^{ns(18,9)}	95,0 ^{ns(11,7)}	93,5 ^{ns(9,9)}
Imazapir + Imazapique 100%	68,8 a	89,0 a	96,3 a	99,5 a	99,5 a
Imazapir + Imazapique 66%	46,3 a	77,5 a	98,0 a	99,1 a	99,5 a
Imazapir + Imazapique 33%	16,3 b	22,5 c	37,5 c	38,8 c	40,0 b
Imazetapir 100%	60,0 a	76,8 a	81,8 a	98,0 a	95,8 a
Imazetapir 66%	51,3 a	76,8 a	83,0 a	85,1 b	88,0 a
Imazetapir 33%	55,0 a	45,0 b	57,5 b	79,3 b	79,0 a
Média geral	53,9	64,5	72,1	77,2	77,2
CV (%)	16,1	12,5	13,1	11,9	12,2

Médias obtidas nos tratamentos testemunhas (três primeiras linhas), sobrescrito são informados a significância e o valor da estimativa do contraste [Scheffé ($p \leq 0,05$)], onde valores positivos são favoráveis às testemunhas e negativos são favoráveis aos tratamentos com herbicidas imidazolinonas; médias obtidas nos tratamentos com herbicidas imidazolinonas (4^a a 9^a linha) seguidas com letras que, quando distintas na coluna diferem entre si [Scott-Knott ($p \leq 0,05$)]; *significativo, ^{ns} não significativo; (CV) coeficiente de variação.

Assim como pressuposto, o tratamento Testemunha capinada apresentou 100% de controle, mas aos 35 e 44 DAA não obteve significância em comparação aos tratamentos com herbicidas. Ou seja, durante estes períodos de avaliação já havia equivalência de controle com algum dos tratamentos com herbicidas imidazolinonas. Mesmo servindo apenas como comparativo, é importante frisar que o uso do método mecânico de controle (capina) em lavouras de trigo demanda

bastante mão de obra e é pouco eficiente, elevando os custos de produção em comparação ao método químico de controle. Além disso, havendo possibilidade de chuvas no momento ou logo após as capinas, favorecendo o rebrote ou pegamento das plantas daninhas, vindo estas a competirem com a cultura do trigo (GALON *et al.*, 2021).

Quando verificada a eficácia no controle de plantas daninhas com os tratamentos herbicidas imidazolinonas, os herbicidas Imazapir + Imazapique nas doses de 100% e 66%, assim como, o herbicida Imazetapir 100%, não apresentaram-se estatisticamente inferiores no controle das plantas daninhas em nenhum dos dias avaliados. Contudo, segundo Oliveira *et al.* (2009), a porcentagem mínima necessária para que um herbicida seja corretamente recomendado para o controle de plantas daninhas deve ser de 80% de controle. Isso foi observado na maioria dos tratamentos herbicidas aos 44 DAA, exceto nos tratamentos herbicidas em que foram utilizados a dose de 33%, respectivo a 40,0% e 79,0% de controle para o tratamento com herbicida Imazapir + Imazapique e imazetapir, respectivamente. Importante frisar que apenas para o primeiro houve distinção estatística.

O tratamento herbicida Imazapir + Imazapique na dose de 33% demonstrou controle 2,5 vezes menor que as demais doses do mesmo herbicida, além de ter apresentado inferioridade em comparação a todos os tratamentos. Ao contrapormos as variáveis de fitointoxicação no trigo CL® com a eficácia no controle de plantas daninhas deste tratamento, observa-se divergência entre elas. Isso acontece devido ambas as variáveis terem ficado com baixas porcentagens, onde na fitointoxicação caracteriza-se como um resultado positivo, enquanto que para a avaliação do controle das plantas daninhas indica um resultado insatisfatório, visto que o controle foi 40% menor que o indicado.

O controle aos 44 DAA obteve apenas um tratamento com diferença significativa, como citado anteriormente. Apesar disso, demonstrou tratamentos com inferioridade de controle de até 20,5% quando comparados aos melhores resultados atingidos no controle de plantas daninhas. Considerando que o controle igual à 100%, como demonstrado no tratamento Testemunha capinada, consiste na máxima eficácia adquirida pelo herbicida, porcentagens de controle acima de 90% representam um resultado extremamente eficaz, onde pode-se observar a morte das plantas daninhas.

Com isso, verifica-se que os tratamentos Imazapir + Imazapique nas doses de 100% e 66% não diferiram entre si, onde desde dos 25 DAA apresentaram controle das plantas daninhas superior à 96%. Esses resultados relacionados à eficácia dos herbicidas podem estar de acordo com o relato de Barros; Calado (2020), e Galon *et al.* (2021), que explicam que a mistura de herbicidas, principalmente de diferentes mecanismos de ação, apresentou potencial de melhorar o controle de plantas daninhas, especialmente as resistentes, estando a eficácia deste controle associada ao sinergismo que ocorre na mistura dos princípios ativos. Além disso, contrapondo as variáveis de controle das plantas daninhas com a fitointoxicação, os mesmos tratamentos demonstraram ótimo potencial de metabolização do herbicida pelas plantas de trigo CL®, onde os resultados igualam-se a 0% de fitointoxicação.

O herbicida Imazetapir obteve porcentagem de controle superior à recomendada em todas as doses utilizadas, onde apenas a dose de 33% foi 1% inferior. Conforme a redução das doses do herbicida nos tratamentos, houve redução igualmente gradual no controle das plantas daninhas. Monquero *et al.* (2011) trabalharam com o Imazetapir em mistura com o herbicida Flumioxazina (PPO), e relataram que a mistura auxiliou no manejo de nabo, sabendo-se que esta planta daninha é resistente aos herbicidas inibidores da enzima ALS (HEAP, 2024).

Os testes herbicidas com a dose de 66%, tanto do Imazapir + Imazapique, quanto do Imazetapir, apresentaram diferença de mais de 10% entre si, respectivamente. Porém, não obtiveram diferença significativa, sendo ambos superiores a 80% de controle aos 44 DAA. Galon *et al.* (2015) em estudos realizados em trigo utilizando misturas dos herbicidas Imazetapir + Imazapique obteve controle de azevém acima de 91%, ressaltando a importância de controles superiores a 80%, pois o nabo e o azevém são muito competitivos com as culturas, e ainda, apresentam resistência a vários herbicidas utilizados para os seus controles em lavouras de inverno.

Os herbicidas Imazapir + Imazapique e Imazetapir, conforme o aumento das doses utilizadas, tiveram aumento espontâneo no controle das plantas daninhas, e/ou eficácia do herbicida. E estatisticamente, de acordo com o passar dos dias após a aplicação dos produtos, os tratamentos apresentaram evolução na eficácia de controle. Galon *et al.* (2021), constatou que os herbicidas pertencentes aos inibidores da ALS demoram mais tempo para apresentar sintomas de controle. Igualmente, Balem *et al.* (2021) utilizaram herbicidas inibidores da ALS, observando

que com o passar do tempo aumentou a taxa de eficácia dos herbicidas, demonstrando efeito de controle mais tardio quando comparados a outros produtos com diferentes mecanismos de ação.

Nicolai (2005) concluiu que para aplicações em pós-emergência deve-se respeitar o estágio inicial das plantas daninhas, pois é nele que as plantas apresentam maior facilidade de controle. Esse autor recomenda que os herbicidas inibidores da ALS sejam aplicados em gramíneas antes do perfilhamento, e em folhas largas com até seis folhas. Contudo, o controle é apenas um dos fatores de importância agrícola. Para que um herbicida seja indicado e integralmente eficaz, além de controlar as plantas daninhas presentes na área e não causar fitointoxicação, deve também não prejudicar os componentes de rendimento, produtividade e qualidade dos grãos.

Neste contexto, na Tabela 4, verificamos a análise da variável Estatura das plantas (EP), onde os três tratamentos testemunhas não foram significativos quando desdobrados em contrastes. Dependendo do nível de infestação, a presença de plantas daninhas favorece o aumento da altura das plantas de trigo devido a matocompetição, uma vez que ocorre a redução da luminosidade, aumenta-se a estatura das plantas (RUBENICH *et al.*, 2017). A altura média das plantas de trigo CL® neste experimento foi de aproximadamente 77 cm, não diferindo entre os tratamentos, incluindo os testemunhais.

Tabela 4 - Efeito dos herbicidas nos componentes de rendimento e qualidade de grãos na cultura do trigo Clearfield®.

Tratamentos	Componentes de rendimento e qualidade dos grãos					
	EP (m)	Nº ESP m ²	Nº GR ESP ⁻¹	MMG (g)	PROD (kg ha ⁻¹)	PH (kg hL ⁻¹)
Testemunha (sem aplicação)	0,7 ^{ns(-0,01)}	169,5 ^{*(-190,7)}	18,2 ^{*(-9,4)}	29,1 ^{ns(-1,8)}	262,1 ^{*(-1011,7)}	71,7 ^{*(-4,5)}
Testemunha capinada	0,8 ^{ns(0,0)}	429,5 ^{ns(69,3)}	31,1 ^{ns(3,6)}	30,7 ^{ns(-0,1)}	1.677,4 ^{ns(403,5)}	76,1 ^{ns(-0,1)}
Testemunha Imazamoxi	0,8 ^{ns(0,1)}	470,5 ^{ns(110,3)}	29,4 ^{ns(1,9)}	30,9 ^{ns(0,0)}	1.627,8 ^{*(353,9)}	76,9 ^{ns(0,6)}
Imazapir + Imazapique 100%	0,7 ^{ns}	332,5 ^{ns}	28,8 ^{ns}	31,0 ^{ns}	1.298,8 b	75,7 ^{ns}
Imazapir + Imazapique 66%	0,8	448,5	32,6	31,1	1.840,9 a	76,1
Imazapir + Imazapique 33%	0,8	380,0	22,1	31,0	946,3 c	76,4
Imazetapir 100%	0,8	375,0	28,0	31,1	1.294,6 b	76,4
Imazetapir 66%	0,8	329,8	25,6	31,0	1.216,8 b	76,6
Imazetapir 33%	0,7	295,5	28,1	29,7	1.045,8 c	76,3
Média geral	0,8	359,0	27,1	30,6	1.245,6	75,8
CV (%)	4,6	22,4	13,6	4,4	16,4	0,9

Médias obtidas nos tratamentos testemunhas (três primeiras linhas), sobrescrito são informados a significância e o valor da estimativa do contraste [Scheffé ($p \leq 0,05$)], onde valores positivos são favoráveis às testemunhas e negativos são favoráveis aos tratamentos com herbicidas imidazolinonas; médias obtidas nos tratamentos com herbicidas imidazolinonas (4ª a 9ª linha) seguidas com letras que, quando distintas na coluna diferem entre si [Scott-Knott ($p \leq 0,05$)]; *significativo, ^{ns} não significativo; (CV) coeficiente de variação. Variáveis: (MMG) Massa de mil grãos; (PROD) Produtividade de grãos; (Nº ESP m²) Número de espigas por metro quadrado; (Nº GR ESP⁻¹) Número de grãos por espiga; (PH) Peso do hectolitro; (EP) Estatura da planta.

Ao desdobrar a variável número de espigas (N° ESP m^2) em contrastes [Scheffé ($p \leq 0,05$)] verificou-se significância para o tratamento Testemunha (sem aplicação). A referida testemunha demonstrou cerca de três vezes menos espigas em relação aos demais tratamentos, devido a demasiada incidência de plantas daninhas. Alguns estudos relatam que em consequência da aplicação de herbicidas ocorrem diferenças em resultados relacionados ao número de espigas em trigo (BARI *et al.*, 2020; ZAKARIYYA *et al.*, 2022), devido às características genéticas das cultivares, além, da seletividade do próprio produto aplicado (RAMOS *et al.*, 2021).

O tratamento Testemunha Imazamoxi não obteve significância estatística, igualmente ao tratamento Testemunha capinada. Entretanto, o herbicida recomendado para a cultura apresentou-se 2,8 vezes superior em comparação ao tratamento Testemunha (sem aplicação). Mesmo os tratamentos com herbicidas imidazolinonas não terem apresentado distinção estatística, houve diferença de até 153 espigas entre o tratamento Imazapir + Imazapique 66% e o Imazetapir 33%, que apresentou o menor número de espigas. Entretanto, com 126 espigas a mais que o tratamento Testemunha (sem aplicação). Galon *et al.* (2023), relatou que a testemunha infestada também apresentou o menor número de espigas, em consequência da elevada infestação de nabo, azevem e aveia preta, havendo competição pelos recursos do meio, afetando negativamente esta variável, assim como os demais componentes de rendimento de grãos.

Na variável número de grãos (N° GR ESP⁻¹) o tratamento Testemunha (sem aplicação) apresentou os menores índices em comparação aos tratamentos herbicidas, presumidamente, devido à competição com as plantas daninhas. Novamente, não houve diferença entre os tratamentos com herbicidas imidazolinonas. Numericamente foi destacado o tratamento com Imazapir + Imazapique na dose de 66%, assim como, o resultado com menor número de grãos por espiga que foi identificado com mesmo tratamento herbicida, porém na dose de 33%. Galon *et al.* (2021), constataram que os tratamentos com os herbicidas pyroxsulam (ALS) e clodinafop-propargyl (ACCase) apresentaram maiores números de grãos na cultivar de trigo TBIO Sinuelo.

Na massa de mil grãos não houve distinção quando comparado com as três testemunhas. Provavelmente, o tratamento Testemunha (sem aplicação) foi numericamente inferior aos tratamentos herbicidas devido à elevada pressão de plantas daninhas. Numericamente, as diferenças foram menores que 0,5%, não

apresentando diferença estatística significativa. Balem *et al.* (2021) ao testarem diferentes herbicidas e seu impacto na massa de grãos, relataram que com uso de herbicidas inibidores da ALS e ACCase igualaram-se estatisticamente à testemunha capinada demonstrando alta seletividade.

Importante frisar que conforme o portfólio da Biotrigo, a cultivar TBIO Ello CL® apresenta peso médio de 32g, não divergindo dos resultados encontrados, sendo a média deste experimento apenas 1,4g inferior, levando em consideração que a variabilidade meteorológica na safra de trigo do ano correspondente não foi favorável à produção de grãos com elevada qualidade fisiológica.

Para a variável produtividade (PROD Kg ha⁻¹), os tratamentos testemunhas quando desdobrados em contrastes [Scheffé ($p \leq 0,05$)], mostram-se significativos para os tratamentos Testemunha (sem aplicação) e Testemunha Imazamoxi, apresentando inferioridade e igualdade/superioridade aos tratamentos herbicidas, respectivamente. Quanto a Testemunha capinada, esta não apresentou significância estatística, sendo igual ou superior aos tratamentos testes.

Devido a alta incidência de plantas daninhas na Testemunha (sem aplicação), presumia-se que haveria interferência negativa diretamente na produtividade dos grãos de trigo, em virtude da elevada competição interespecífica. O tratamento Testemunha (sem aplicação) apresentou inferioridade de 84,4% em comparação à Testemunha capinada. Igualmente, Lamego *et al.* (2013) e Galon *et al.* (2021) relataram que na ausência de algum método de controle, perdas de produtividade de grãos de trigo superiores a 80 e 90%, respectivamente, podem ocorrer.

Os tratamentos herbicidas Imazapir + Imazapique e Imazetapir na dose de 33% apresentaram diferença de quase 100 Kg ha⁻¹ entre um e outro, respectivamente, demonstrando-se inferiores às demais doses dos tratamentos testes. Com exceção das doses herbicidas de 33%, e do tratamento Imazapir + Imazapique na dose de 66%, os demais tratamentos herbicidas não se apresentaram estatisticamente diferentes, apresentando produtividade média de 1.270,1 Kg ha⁻¹. Segundo a CONAB (2023), a produtividade média de grãos de trigo da safra foi de 2.349,0 Kg ha⁻¹, sendo menor que a safra 2022 em razão das condições meteorológicas presenciadas da metade do ciclo produtivo em diante, persistindo no período de enchimento de grãos, maturação até a colheita.

Assim como nas demais variáveis, o tratamento Imazapir + Imazapique 66% destacou-se dos demais tratamentos herbicidas, mesmo não apresentando

diferença estatística em algumas avaliações. Este tratamento retratou superioridade de 163,5 Kg ha⁻¹ quando contraposto a produtividade do tratamento Testemunha capinada. Balem *et al.* e Galon *et al.* (2021) relataram que o herbicida lodosulfuron-methyl (ALS) aplicado em pós-emergência proporcionou maiores rendimentos de grãos de trigo. A interferência dos herbicidas no desenvolvimento e crescimento das plantas pode ser direta e/ou indireta, mesmo havendo fitotoxicidade no trigo, este pode metabolizar o herbicida, e assim, manter a produtividade dos grãos (AGOSTINETTO *et al.*, 2016; PIASECKI *et al.*, 2017; GALON *et al.*, 2021).

No entanto, não é apenas a boa produtividade que vai definir a rentabilidade do agricultor pois é fundamental a qualidade dos grãos de trigo. Para isso, é utilizado o peso do hectolitro, que consiste em um parâmetro para a classificação e comercialização do trigo, estando associado à forma, uniformidade, densidade e tamanho do grão, assim como, ao conteúdo de matérias estranhas e grãos quebrados da amostra. O trigo classificado e comercializado como tipo 1 deve obter valor mínimo para o peso do hectolitro de 78 kg hL⁻¹ (NUNES *et al.* 2011).

Para PH apenas o tratamento Testemunha (sem aplicação) foi inferior aos tratamentos herbicidas, apresentando os menores valores. Galon *et al.* (2023) evidenciaram que a presença de plantas daninhas na testemunha infestada afetou negativamente esta mesma variável, assim como todos os demais componentes de rendimento de grãos da cultura do trigo, em consequência da competição pelos recursos do meio. A média de PH entre os tratamentos foi de 76,2, não havendo variação considerável. O PH do trigo igual ou superior a 78 é responsável por balizar o preço básico do produto, configurando a exigência mínima para a panificação. Porém, apenas 20% do total de trigo colhido na safra 2023 atingiu esses índices (CONAB, 2024). Dos demais, 50% apresentaram PH de 72 a 77, como visto neste trabalho. Os 30% restantes foram classificados como triguilho, baixo padrão de qualidade.

A qualidade dos grãos de trigo foi abaixo da perspectiva inicial, visto que a expectativa no período inicial de implantação da cultura era de uma safra semelhante à de 2022, onde o estado do RS atingiu a safra recorde de produção de grãos de trigo. Contrariamente, houve excesso de chuvas, ventanias, enchentes, enxurradas, nebulosidade frequente e dias sem sol em todas as regiões do estado do RS, resultando em consequências, devido ao excesso de umidade o ataque de doenças foi severo, maximizando os custos das lavouras (CONAB, 2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todos os herbicidas do grupo químico das Imidazolinonas testados neste experimento não apresentaram fitointoxicação consideráveis à cultura do trigo com a tecnologia Clearfield®. Configurando possível seletividade da cultivar TBIO Ello CL® aos herbicidas utilizados, mesmo esses não possuindo registros para a cultura do trigo.

O tratamento herbicida Imazapir + Imazapique na dose de 33% destacou-se na avaliação de fitointoxicação, apresentando porcentagens menores de injúrias nas plantas de trigo. No entanto, quando contraposto à variável controle das plantas daninhas, deixou a desejar, devido ter expressado apenas metade do controle mínimo recomendado. Imazapir + Imazapique nas doses de 100% e 66%, assim como o herbicida Imazetapir na dose de 100%, demonstraram os melhores resultados de controle de plantas daninhas.

Contrastando aos resultados de seletividade com os componentes de produtividade e de qualidade dos grãos de trigo, o tratamento que envolvia o herbicida Imazapir + Imazapique na dose de 66% obteve destaque. Principalmente, por ter resultado em uma maior produtividade de grãos comparando com todos os demais tratamentos, não havendo influência negativa na qualidade dos grãos.

6 REFERÊNCIAS

ABITRIGO. Associação Brasileira da Indústria do Trigo. **História do trigo**. Online. Disponível em: <<https://www.abitrigo.com.br/conhecimento/historia-do-trigo/>>. Acesso em: 16 de maio de 2024.

AGOSTINETTO, D. *et al.* Período crítico para competição de plantas daninhas com trigo. **Planta Daninha**, v.26, n. 2, p. 271-278, 2008. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000200003>>

AGOSTINETTO, D. *et al.* Changes in photosynthesis and oxidative stress in wheat plants submitted to herbicides application. **Planta Daninha**, v.34, n.1, p.1-9, 2016. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340100001>>

BAHAR, F. A. *et al.* Development of Herbicide Resistance, Mechanism and its Management. **Research Journal of Agricultural Sciences**, USAB-Tm: Timisoara, v. 4, n. 3, p. 321-328, 2013.

BALEM, R. *et al.* Controle de nabo e azevém em trigo com herbicidas pós-emergentes. **Revista de Ciência e Inovação**, v.6, n.1, 45-56, 2021. DOI: <<https://doi.org/10.26669/2448-4091251>>

BARI, A. *et al.* Application of various herbicides on controlling large and narrow leaf weeds and their effects on physiological and agronomic traits of wheat. **Planta Daninha**, 38 (e020202353), 1-12, 2020. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100009>>

BARROS, J. C.; CALADO, J. Rotação de herbicidas em trigo para prevenir a resistência das infestantes em condições Mediterrânicas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n.1, 3-13, 2020. DOI: <<https://doi.org/10.19084/rca.19169>>

BIFFE, D. F.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S. Interferência das plantas daninhas nas plantas cultivadas. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T. *et al.* comps. **Hortaliças-fruto** [online]. Maringá: EDUEM, 2018, p. 339-355. ISBN: 978-65-86383-01-0. DOI: <<https://doi.org/10.7476/9786586383010.0012>>

BIOTRIGO. Guia de cultivares TBIO 2023. Passo Fundo: **Biotrigo genética**, jan/2023. Disponível em: <<https://biotrigo.com.br/wp-content/uploads/2022/08/Guia-de-Cultivares-Portfolio-2023.pdf>>. Acesso em: julho de 2023.

BOSCHINI, A. P. M. Produtividade e qualidade de grãos de trigo influenciados por nitrogênio e lâminas de água no Distrito Federal. **Dissertação (Mestrado em Agronomia)** – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília/DF, 2010.

BRIGHENTI, A. M. *et al.* Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura do girassol. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 251-257, 2004.

BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. F. Biologia de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Org.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Ompipax, 2011. p. 1-36.

CARÁMBULA, M. Potenciales y alternativas para producir forraje. Pasturas y forrajes. **Editorial Agropecuario Hemisferio Sur**, Montevideo, Tomo I, 2007. 357p.

CECHIN, J. *et al.* Mutation os Trp-574-Leu ALS gene confers resistance os radish biotypes to iodosulfuron and imazethapyr herbicides. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v. 39, n.3, 299-306, 2017.

CHARLESWORTH, B. Evolutionary Rates in Partially Self-Fertilizing Species. **The American Naturalist**, v. 140, n. 1, 126-148, 1992. DOI: <<http://www.jstor.org/stable/2462391>>

CHRISTOFFOLETI, P. J.; KEHDI, C. A.; CORTEZ, M. G. Manejo da planta daninha *Brachiaria plantaginea* resistente aos herbicidas inibidores da ACCase. **Planta Daninha**: Viçosa, v. 19, n. 1, p. 61-66, 2001.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; NICOLAI, M. Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas. **Associação Brasileira de Ação à Resistência de Plantas Daninhas aos Herbicidas (HRAC-BR)**. Piracicaba: ESALQ, 2016. 4. ed., 262 p.

CHRISTOFFOLETI, P. J. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. In: SIMPÓSIO SOBRE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 1., Dourados: **EMBRAPA**, 1997. p.75-94.

Classificação global de herbicidas MOA 2024 HRAC. **Herbicide Resistance Action Committee**, 2024. Disponível em: <<https://hracglobal.com/getdoc.php?file=2024-HRAC-GLOBAL-HERBICIDE-MOA-CLASSIFICATION-POSTER.pdf>>

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, Brasília, DF, v.11 – Safra 2023/24, n.3 - Terceiro levantamento, p. 1-137, dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>.

Acesso em: 09 de janeiro de 2024.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, Brasília, DF, v.11 – Safra 2023/24, n.4 - Quarto levantamento, p. 1-111, janeiro de 2024. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>.

Acesso em: 16 de maio de 2024.

CORREIA, N. M.; CARVALHO, A. D. F. Seletividade de herbicidas para batata-doce. **Weed Control Journal**, v. 20, n.1, e. 202100740, 2021. Disponível em: <https://www.weedcontroljournal.org/wp-content/uploads/articles_xml/2763-8332-wcj-20-e202100740/2763-8332-wcj-20-e202100740.pdf>

COSTA, L. O.; RIZZARDI, M. Habilidade competitiva de trigo em convivência com biótipos de *Raphanus raphanistrum* L. resistente e suscetível aos herbicidas inibidores de ALS. **Ciência e Agrotecnologia**, v.39, n.2, p.121-130, 2015.

CRALLE, H. T. *et al.* Trigo e azevém italiano (*Lolium multiflorum*) em função da nutrição com fósforo. **Weed Science**, v. 51, 425-429, 2003.

CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F.; VARGAS, L. Bases para produção competitiva e sustentável de trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (Ed.). Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**, 2011. Cap. 1, p. 19-26.

DALAZEN, G. Introdução da tecnologia Clearfield em cultivares de trigo no Brasil. **Portal do produtor rural do Paraná**, 2020. Disponível em: <<https://portaldoprodutor.agr.br/introducao-da-tecnologia-clearfield-em-cultivares-de-trigo-no-brasil>>. Acesso em: novembro de 2023.

DAN, H. A. *et al.* Residual activity of herbicides used in soybean agriculture on grain sorghum crop succession. **Planta Daninha**, v. 28, p. 1087-1095, 2010. DOI: <<https://www.scielo.br/j/pd/a/LJNYM8LVqcnyySwQGCTpwNF/?format=pdf&lang=en>>

DUARTE, N. F. *et al.* Competição de plantas daninhas com a cultura do milho no município de Ijaci, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 5, p. 983-992, 2002. DOI: <<http://www.lpv.esalq.usp.br/sites/default/files/6%20-%20Semana%204%20-%20competicao%20de%20plantas%20daninhas%20com%20a%20cultura%20de%20milho%20-%20referencia%20leitura.pdf>>

DURIGON, M. R. *et al.* Indicações de uso e boas práticas de manejo da tecnologia Clearfield em canola para as regiões Sul e Centro-Oeste. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 35, n. 152, p. 22-30, mar/abr 2016. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/145835/1/ID43715-2016RevistaPlantioDiretoV25n152p22.pdf>>

EMBRAPA TRIGO. **Genética e novas biotecnologias no melhoramento de trigo**. Passo fundo, RS, 2000. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_do04_1.htm>. Acesso em: janeiro de 2024.

GALON, L. *et al.* Efficacy and phytotoxicity of herbicides applied for the handling of weeds that infest wheat. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 14, n. 2, p. 128-140, 2015. DOI: <<http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v14i2.405>>

GALON, L. *et al.* Manejo químico de plantas daninhas infestantes da cultura do trigo. **Brazilian Journal of Science**, v. 2, n. 8, p. 1-22, 2023. DOI: <<https://doi.org/10.14295/bjs.v2i8.344>>

GALON, L. *et al.* Seletividade e eficácia de herbicidas aplicados à cultura do trigo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 20, n. 3, p. 199-212, 2021. DOI: <<https://doi.org/10.5965/223811712032021199>>

GALON, L. *et al.* Weed interference period and economic threshold level of ryegrass in wheat. **Bragantia**, v. 78, n. 3, p. 409-422, 2019. DOI: <<https://doi.org/10.1590/1678-4499.20180426>>

GUSTAFSON, D. J. *et al.* Competitive relationships of *Andropogon gerardii* (Big Bluestem) from remnant and restored native populations and select cultivated

varieties. **Functional Ecology**, v. 18, n. 3, p. 451-457, 2004. DOI: <<http://www.jstor.org/stable/3599207>>

GWIRTZ, J. A.; WILLYARD, M. R.; MCFALL, K. L. W. Wheat: more than just a plant. In: MÜHLENCHMIE. **Future of flour: a compendium of flour improvement**. 2014.

HEAP, I. (2023/24). **The International herbicide-resistant weed database**. Disponível em: <www.weedscience.org>.

JAMES, J. W. Simultaneous selection for dominant and recessive mutants. **Heredity**, v. 20, n.1, p. 142-144, 1965.

KISSMANN, K. G. Plantas infestantes e nocivas. TOMO I. 3.ed. São Paulo: **Basf Brasileira S.A.**, 2007.

LAMEGO, F. P. *et al.* Alterações morfológicas de plântulas de trigo, azevém e nabo quando em competição nos estádios iniciais de crescimento. **Planta daninha**, Viçosa, v.33, n. 1, p. 13-22, 2015.

LAMEGO, F. P. *et al.* Habilidade competitiva de cultivares de trigo com plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 31, n. 3, p. 521-531, 2013. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000300004>>

LEMERLE, D. *et al.* Genetic improvement and agronomy for enhanced wheat competitiveness with weeds. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 52, n. 5, p. 527-548, 2001. DOI: <<https://doi.org/10.1071/AR00056>>

LEON, A. E.; ROSELL, C. M. De tales harinas, tales panes: granos, harinas e productos de panificación en Iberoamérica. Córdoba: **Hugo Báez**, 2007. n.1, 480 p. DOI: <<http://hdl.handle.net/10261/17118>>

LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; VARGAS, L. Resistência de plantas daninhas a herbicidas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Ed.) Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Bento Gonçalves: **Embrapa Uva e Vinho**, 2004. p. 185-214.

LORENZI, H. Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional. 4. ed. Nova Odessa: **Plantarum**, 1994.

LORENZI, H. Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional. 7. ed.. Nova Odessa: **Plantarum**, 2014. 383p.

LOUX, M. M.; LIEBL, R. A.; SLIFE, F. W. Adsorção de Imazaquin e Imazetapir em solos, sedimentos e adsorventes selecionados. **Weed Science**, v. 37, p. 712-718, 1989. DOI: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:99961249>>

MALLORY SMITH, C. A.; THILL, D. C.; DIAL, M. J. Identification of sulfonylurea herbicide resistant prickly lettuce (*Lactuca serriola*). **Weed Technology**, v.4, p.787-790, 1990. DOI: <<https://doi.org/10.1017/S0890037X00025173>>

MANDARINO, J. M. G. Aspectos importantes para a qualidade do trigo. Londrina: **Embrapa**, 1993, 32 p. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/445475/1/Documento_s60.pdf>

MANGELS, G. Behavior of the imidazolinone herbicides in soil a review of the literature. In: SHANER, D. L.; O'CONNOR, S. L. (Eds.). Imidazolinone herbicides. **The Boca Raton**, EUA: CRC Press, p. 191209, 1991.

MARIANI, F. *et al.* Herança da Resistência de *Lolium multiflorum* ao Iodosulfuron-Methyl Sodium. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 33, n. 2, p. 351-356, junho de 2015. DOI: <<https://doi.org/10.1590/0100-83582015000200021>>

MAZUR, B. J.; FALCO, S. C. The development of herbicide resistant crops. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 40, p. 441-470, 1989.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Consulta de Produtos Formulados**. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 15 de maio 2024.

MIRANDA, M. Z.; MORI, C.; LORINI, I. Qualidade Comercial do Trigo Brasileiro: Safra, 2005. **Embrapa**, Passo Fundo, RS, 102 p., 2008. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126885/1/ID-9731-LV-1452.pdf>>

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

MONQUERO, P. A. *et al.* Seletividade de herbicidas em variedades de cana-de-açúcar. **Fitotecnia**. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p.286-293, 2011.

NICOLAI, M. Desempenho da cultura de milho (*Zea mays*) submetida a aplicação de herbicidas pós-emergentes, em diferentes situações de manejo. **Fitotecnia**. Piracicaba-SP, 2005. 96p.

NUNES, A. *et al.* Adubos verdes e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo sob plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, 1375-1384, 2011. DOI: <<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n4p1375>>

O'BRYAN, K. A. *et al.* Comparação de técnicas de bioensaio para detecção de Imazaquin no solo. **Weed Technol**, v. 8, n. 2, p. 203-206, 1994. DOI: <<https://doi.org/10.1017/S0890037X00038653>>

OLIVEIRA, A. R.; FREITAS, S. P.; VIEIRA, H. D. Controle de *Commelina benghalensis*, *C. erecta* e *Tripogandra diuretica* na cultura do café. **Planta Daninha**, v. 27, n. 4, p. 823-830, 2009. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000400021>>

OLIVEIRA Jr., R. S. de. Mecanismo de ação dos herbicidas. In: OLIVEIRA Jr., R. S. de; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba: **Omnipax**, 2011. Cap. 7, p. 141-192. Disponível em: <https://www2.ufpel.edu.br/prg/sisbi/bibct/acervo/biologia_e_manejo_de_plantas_daninhas.pdf>

OLIVEIRA Jr., R. S. Atividade residual no solo de imazaquin e alachlor+atrazine visando plantio sequencial de canola. **Ciência Rural**, v. 31, n. 2, p. 219-222, 2001. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/rGDpCvKJQtBqb8GvYs8Pdzx/?format=pdf&lang=pt>>

PITELLI, R. A. Biologia de plantas daninhas. In: **SEMANA DE CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS**, 10., Bandeirantes: Fundação Faculdade de Agronomia Luiz Meneghel, 1990. p. 58-100.

PIASECKI, C. *et al.* Seletividade de associações e doses de herbicidas em pós emergência do trigo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 4, p. 286-295, 2017. DOI: <<https://doi.org/10.7824/rbh.v16i4.562>>

POMERANZ, Y. Modern cereal science and technology. **VCH Publishers**, New York, 486 p. 1987.

POWLES, S. B.; YU, Q. Evolution in action: Plants resistant to herbicides. **Annual Review of Plant Biology**, v. 61, n. 4, p. 317-347, 2010.

RAJ, R.; KUMAR, B.; SINGH, M. Efficacy of different weed management practices on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**. 2250-2253, 2020. Disponível em: <<https://www.phytojournal.com/archives/2020/vol9issue5/PartAE/9-5-42-647.pdf>>

RAMOS, A. R.; ZAMPAR, A.; SILVA, A. W. L. Dry matter productivity and bromatological quality of ryegrass genotypes cultivated in Southern Brazil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 73, n. 1, p. 247-255, 2021. DOI: <<https://doi.org/10.1590/1678-4162-11885>>

RAY, T. B. Site of action of chlorsulfuron inhibitor of valine and isoleucine biosynthesis in plants. **Plant Physiology**, v.75, n.1, p. 827-831, 1984. DOI: <<https://doi.org/10.1104/pp.75.3.827>>

RENNER, K. A.; MEGGITT, W. F.; PENNER, D. Effect of soil pH on imazaquin Zea and imazethapyr adsorption to soil and phytotoxicity to corn (mays). **Weed Science**, v. 36, n. 1, p. 78-83, 1988. DOI: <<https://doi.org/10.1017/S0043174500074488>>

RIGOLI, R. P. *et al.* Habilidade competitiva relativa do trigo (*Triticum aestivum*) em convivência com azevém (*Lolium multiflorum*) ou nabo (*Raphanus raphanistrum*). **Planta Daninha**, v. 26, n.1, p. 93-100, 2008. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/144567945/habilidade-competitiva-relativa-do-trigo-triticum-aestivum-em-convivencia-com-az>>

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 5. ed. Londrina: IAPAR, 2005. 591p.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6.ed. Londrina, 2011. 667p.

ROMAN, E. S. *et al.* Como funcionam os herbicidas : da biologia à aplicação. Passo Fundo : **Embrapa Trigo**, Gráfica Editora Berthier, 2005. 152p.

RUBENICH, R. et al. Efeito da redução de luz na seletividade de herbicidas e rendimento de grãos do trigo, **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 4, p. 296-306, 2017. DOI: <<https://doi.org/10.7824/rbh.v16i4.572>>

SAARI, L. L.; COTTERMAN, J. C.; THILL, D. C. Resistance to acetolactate synthase inhibiting herbicides. In: POWLES, S. B.; HOLTUM, J. A. M. Herbicide resistance in plants: biology and biochemistry. **Boca Raton**: CRC Press, 1994. p. 83-139. Disponível em: <<https://digital.library.adelaide.edu.au/dspace/bitstream/2440/18743/2/02whole.pdf>>

SANTOS, H. G. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). 5 ed., rev. e ampl. - Brasília, DF: **Embrapa Solos**, 2018. 356 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasil-eiro-de-classificacao-de-solos>>

SHANER, D. L. Mechanisms of resistance to acetolactate synthase/acetohydroxyacid synthase inhibitors. In: CASELEY, J. C.; CUSSANS, G. W.; ATKIN, R. K. (Ed.). Herbicide resistance in weeds and crops. Oxford: **Butterworth-Heinemann**, 1991. p. 27-43.

SILVA, A. A. B. et al. Períodos de Interferência de Plantas Daninhas em Trigo Precoce na Região Centro Ocidental Paranaense. **Planta daninha**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 291-298, 2016. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340200010>>

SILVA, A. A. et al. Efeito residual no solo dos herbicidas imazamox e imazethapyr para as culturas de milho e sorgo. **Planta Daninha**, v. 17, n. 3, p. 345-354, 1999. DOI: <[10.1590/S0100-83581999000300003](https://doi.org/10.1590/S0100-83581999000300003)>

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina: **SBCPD**, 1995. 42p.

SWANTON, C. J.; WEISE, S. F. Integrated weed management: the rationale and approach. **Weed Technology**, v. 5, n. 3, p. 648-656, 1991. DOI: <<https://doi.org/10.1017/S0890037X00027512>>

TAKEITI, C. Y. Trigo. Brasília: **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, 2015. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/>. Acesso em: agosto de 2023.

TAMAGNO, W. A. et al. Redox status upon herbicide application in the control of *Lolium multiflorum* (2n and 4n) as weed. **Journal of Environmental Science and Health**, Part B, v. 56, p. 1-11, 2022. DOI: <<https://doi.org/10.1080/03601234.2022.2104068>>

TAVARES, L. C. et al. Criteria for decision making and economic threshold level for wild radish in wheat crop. **Planta Daninha**, v. 37, p. 1-11, 2019. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100004>>

TAVARES, L. C. et al. Produtividade, qualidade fisiológica e resíduo em sementes de trigo em função da dessecação com herbicidas. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n. 3, p.

132-143, 2018. Disponível em:
<<https://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/2273>>

TAVARES, L. C. *et al.* Criteria for decision making and economic threshold level for wild radish in wheat crop. **Planta Daninha**, v. 37, p. 1-11, 2019. DOI:
<<https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100004>>

THEISEN, G. Aspectos botânicos e relato da resistência de nabo silvestre aos herbicidas inibidores de ALS. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 26 p., 2008. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPACT-2009-09/11941/1/documento_239.pdf>

THEISEN, G. Identificação de nabo (*Raphanus sativus*) resistente aos herbicidas inibidores da ALS. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas**, v. 10, p.262, 2004. Disponível em:
<<https://sbcpd.org/uploads/trabalhos/identificacao-de-nabo-raphanus-sativus-resistente-aos-herbicidas-inibidores-de-als.-784.pdf>>

TOMM, G. O. *et al.* Introdução de tecnologia para controle de plantas daninhas em canola no Brasil - Sistema Clearfield®. **Embrapa Trigo**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CANOLA, v. 1, 2017, Passo Fundo. Anais, Brasília, DF: Embrapa, p. 136-143, 2017. Disponível em:
<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170100/1/CNPT-ID44240.pdf>>

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Herbicidas inibidores da ALS. In: VIDAL, R. A.; MEROTTO JR, A. (Ed.). **Herbicidologia**. Porto Alegre: 2001. p. 25-36.

VARGAS, L. *et al.* Resistência de plantas daninhas a herbicidas. Viçosa: **UFV**, 1999. 131 p.

VARGAS, L.; MORAES, R. M. A.; BERTO, C. M. Herança da resistência de azevém (*Lolium multiflorum*) ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 567-571, 2007. Disponível em:
<<https://www.passeidireto.com/arquivo/144567969/heranca-da-resistencia-de-azevem-lolium-multiflorum-ao-glyphosate>>

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. Conceitos e aplicações dos adjuvantes. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**, 2006. 10 p. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 56). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do56.htm>. Acesso em: agosto de 2023.

WALSH, M. J. Enhanced wheat competition effects on the growth, seed production, and seed retention of major weeds of Australian cropping systems. **Weed Science**, v. 67, n. 6, p. 657-665, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/wsc.2019.53>>

ZAKARIYYA, M. I. *et al.* Integrated weed management strategies in wheat crops. **Journal of Plant Genetics and Breeding**, v. 6, n. 1, p. 1-4, 2022. DOI:
<<https://doi.org/10.4172/jpgb.1000109>>

ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, Oxford, v. 14, p. 415-421, 1974. DOI:
<<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>>