

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

BRENDA GROSS TOCHA

ESTRATÉGIAS DE CONTROLE QUÍMICO DO AZEVÉM NA CULTURA DA CEVADA

PONTA GROSSA
2026

BRENDA GROSS TOCHA

ESTRATÉGIAS DE CONTROLE QUÍMICO DO AZEVÉM NA CULTURA DA CEVADA

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Área de Manejo Fitossanitário.

Orientador: Prof.º Dr.º Neumárcio Vilanova da Costa.

Coorientador: Prof.º Dr.º Giliardi Dalazen.

PONTA GROSSA
2026

Tocha, Brenda Gross

T631 Estratégias de controle químico do azevém na cultura da cevada / Brenda Gross Tocha. Ponta Grossa, 2026.
63 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração: Fitotecnia e Fitossanidade), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Neumárcio Vilanova da Costa.
Coorientador: Prof. Dr. Giliardi Dalazen.

1. Herbicidas na agricultura. 2. Cevada - Cultivo. 3. Azevém - Controle químico. 4. Plantas daninhas - Controle. 5. Fitossanidade - Manejo. I. Costa, Neumárcio Vilanova da. II. Dalazen, Giliardi. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Fitotecnia e Fitossanidade. IV.T.

CDD: 632.954



BRENDA GROSS TOCHA

“ESTRATÉGIAS DE CONTROLE QUÍMICO DO AZEVÉM NA CULTURA DA CEVADA”.

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia na Universidade Estadual de
Ponta Grossa. Área: Fitotecnia e Fitossanidade.

Ponta Grossa, 25 de fevereiro de 2026.

Documento assinado digitalmente
 **NEUMARCIO VILANOVA DA COSTA**
Data: 27/02/2026 15:04:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Neumarcio Vilanova da Costa
Doutor em Agronomia
UEPG

Documento assinado digitalmente
 **CLEBER DANIEL DE GOES MACIEL**
Data: 27/02/2026 15:22:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Cleber Daniel de Goes Maciel
Doutor em Agronomia
UNICENTRO

Documento assinado digitalmente
 **SILVIO DOUGLAS FERREIRA**
Data: 27/02/2026 16:07:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Silvio Douglas Ferreira
Doutor em Agronomia
UENP

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pela vida, saúde e força oferecida em todos os momentos.

A minha mãe Rosângela e a meu pai Geraldo (*in memoriam*), por me ensinarem os valores éticos e morais, os quais me transformaram na pessoa que sou hoje.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa pela infraestrutura, apoio e oportunidade de realizar este curso de pós-graduação.

Aos funcionários da Fazenda Escola Capão da Onça (FESCON), os quais me auxiliaram no decorrer dos experimentos.

Aos Professores Dr. Neumárcio Vilanova da Costa e Dr. Giliardi Dalazen pelo empenho, dedicação, apoio e orientação.

À MSc. Eng. Agrônoma Marília Stroka Kremer e ao Eng. Agrônomo Matheus Grande, pessoas especiais as quais tive o privilégio de conhecer durante o programa.

E aos meus colegas e parentes, e a todos aqueles que direta ou indiretamente fizeram parte deste processo, meu muito obrigada.

Ninguém vai bater tão forte como a vida,
mas não se trata de bater forte.
Se trata de quanto você aguenta apanhar
e seguir em frente, o quanto você é
capaz de aguentar e continuar tentando.
É assim que se ganha.

Rocky Balboa

RESUMO

Com o objetivo de avaliar diferentes manejos de herbicidas no controle de azevém e verificar sua seletividade na cevada, foram conduzidos dois experimentos em duas safras de inverno consecutivas, 2024 e 2025, na Fazenda Escola Capão da Onça (FESCON) da Universidade Estadual de Ponta Grossa, ambos com delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. Os dois experimentos consistiram em nove tratamentos, sendo eles: 1- S-metolachlor (960 g i.a. ha⁻¹); 2- Pyroxasulfone (125 g i.a. ha⁻¹); 3- S-metolachlor + Pinoxaden (960 g i.a. ha⁻¹ + 50 g i.a. ha⁻¹); 4- Pyroxasulfone + Pinoxaden (125 g i.a. ha⁻¹ + 50 g i.a. ha⁻¹); 5- Pinoxaden (50 g i.a. ha⁻¹); 6- S-metolachlor + (S-metolachlor + Pinoxaden) (480 g i.a. ha⁻¹ + (480 g i.a. ha⁻¹ + 50 g i.a. ha⁻¹)); 7- Pyroxasulfone + (Pyroxasulfone + Pinoxaden) (62,5 g i.a. ha⁻¹ + (62,5 g i.a. ha⁻¹ + 50 g i.a. ha⁻¹)); 8- Testemunha infestada e 9- Testemunha capinada. No primeiro experimento foi avaliado o controle de azevém, e no segundo a seletividade dos tratamentos. A aplicação dos tratamentos foi realizada com a utilização de um pulverizador costal pressurizado CO₂. A velocidade de deslocamento foi de 1 m s⁻¹, com volume de calda de 150 L ha⁻¹. As variáveis avaliadas no primeiro experimento foram: contagem de plantas de azevém por m² aos 15, 30, 45 e 60 (Dias Após o Tratamento - DAT), número de espigas e massa das espigas de azevém, além da umidade da cevada, peso do hectolitro (PH), peso de mil grãos (PMG) e produtividade (kg ha⁻¹). Para o segundo experimento foram avaliados: altura de plantas e massa seca da parte aérea da cevada aos 45 DAT, umidade, PH, PMG e produtividade. Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o programa RStudio e as médias foram comparadas pelo teste de SNK (Student-Newman-Keuls) e Dunnett a 5% de probabilidade. Os resultados evidenciam que: no que se refere ao controle do azevém, a aplicação isolada de Pyroxasulfone apresenta maior eficiência residual quando comparada ao S-metolachlor; todavia, estratégias de manejo sequencial ou em associação com Pinoxaden resultam em níveis de controle mais elevados e persistentes. Em solos de textura mais arenosa, aliados a condições adequadas de cobertura por palhada e regime pluviométrico, os herbicidas S-metolachlor e Pinoxaden apresentam maior seletividade à cultura da cevada em comparação à Pyroxasulfone. Contudo, a associação entre Pyroxasulfone e Pinoxaden proporciona maiores valores de produtividade. Em ambientes caracterizados por baixa quantidade de palhada associada a elevados índices de precipitação, a Pyroxasulfone pode ocasionar sintomas de fitotoxicidade; entretanto, a cultura demonstra capacidade de recuperação ao longo do ciclo, sem prejuízos ao peso hectolitro (PH), ao peso de mil grãos (PMG) e à produtividade.

Palavras-chave: Pinoxaden, Pyroxasulfone, S-metolachlor, seletividade, controle.

ABSTRACT

With the aim of evaluating different herbicide management practices for ryegrass control and verifying their selectivity in barley, two experiments were conducted in two consecutive winter growing seasons, 2024 and 2025, at the Capão da Onça School Farm (FESCON) of the State University of Ponta Grossa. Both experiments used a randomized block design with four replications. The two experiments consisted of nine treatments: 1- S-metolachlor (960 g a.i. ha⁻¹); 2- Pyroxasulfone (125 g a.i. ha⁻¹); 3- S-metolachlor + Pinoxaden (960 g a.i. ha⁻¹ + 50 g a.i. ha⁻¹); 4- Pyroxasulfone + Pinoxaden (125 g a.i. ha⁻¹ + 50 g a.i. ha⁻¹); 5- Pinoxaden (50 g a.i. ha⁻¹); 6- S-metolachlor + (S-metolachlor + Pinoxaden) (480 g a.i. ha⁻¹ + (480 g a.i. ha⁻¹ + 50 g a.i. ha⁻¹)); 7- Pyroxasulfone + (Pyroxasulfone + Pinoxaden) (62.5 g a.i. ha⁻¹ + (62.5 g a.i. ha⁻¹ + 50 g a.i. ha⁻¹)); 8- Infested control and 9- Weeded control. In the first experiment, ryegrass control was evaluated, and in the second, the selectivity of the treatments. The treatments were applied using a CO₂ pressurized backpack sprayer. The travel speed was 1 m s⁻¹, with a spray volume of 150 L ha⁻¹. The variables evaluated in the first experiment were: ryegrass plant count per m² at 15, 30, 45, and 60 (Days After Treatment - DAT), number of ears and ryegrass ear mass, as well as barley moisture, hectoliter weight (HLW), thousand grain weight (TGW), and productivity (kg ha⁻¹). For the second experiment, the following were evaluated: plant height and dry weight of the barley aerial part at 45 DAT, moisture, HLW, TGW, and productivity. The data were subjected to analysis of variance using the RStudio program, and the means were compared using the Student-Newman-Keuls (SNK) and Dunnett tests at a 5% probability level. The results show that: regarding ryegrass control, the isolated application of Pyroxasulfone presents greater residual efficiency when compared to S-metolachlor; However, sequential management strategies or those combined with Pinoxaden result in higher and more persistent levels of control. In sandy soils, combined with adequate straw cover and rainfall regime, the herbicides S-metolachlor and Pinoxaden show greater selectivity to barley compared to Pyroxasulfone. However, the combination of Pyroxasulfone and Pinoxaden provides higher productivity values. In environments characterized by low straw cover associated with high rainfall, Pyroxasulfone may cause phytotoxicity symptoms; however, the crop demonstrates recovery capacity throughout the cycle, without compromising hectoliter weight (HLW), thousand-grain weight (TGW), and productivity.

Keywords: Pinoxaden; Pyroxasulfone; S-metolachlor; selectivity; weed control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estágios fenológicos modelados da cevada de inverno, conforme a escala BBCH, abrangendo desde a emergência até a maturação fisiológica, com a identificação dos principais eventos do desenvolvimento da cultura e seus respectivos códigos.....	17
Figura 2 – Representação bidimensional (2D) da estrutura molecular da Pyroxasulfone, evidenciando a disposição dos átomos e das ligações químicas que compõem a molécula.....	23
Figura 3 – Representação bidimensional (2D) da estrutura molecular do S-metolachlor, evidenciando a disposição dos átomos e das ligações químicas que compõem a molécula.....	25
Figura 4 – Representação bidimensional (2D) da estrutura molecular do Pinoxaden, evidenciando a disposição dos átomos e das ligações químicas que compõem a molécula.....	29
Figura 5 – Balanço hídrico e temperatura média mensal registrados ao longo do ciclo da cultura da cevada na safra de 2024.....	33
Figura 6 – Balanço hídrico e temperatura média mensal registrados ao longo do ciclo da cultura da cevada na safra de 2025.....	33
Figura 7 – Registro fotográfico do procedimento de avaliação do controle de azevém realizado na Quadra D8 da FESCON, ilustrando a metodologia adotada durante as avaliações em campo. a) Contagem de plantas emergidas; b) contagem de espigas; c) pesagem dos grãos.....	35
Figura 8 - Registro fotográfico do procedimento de avaliação da seletividade de herbicidas na cultura da cevada, realizado na Quadra E9 da FESCON aos 45 DAT, ilustrando a metodologia adotada durante as avaliações em campo. a) Altura de plantas; b) coleta de parte aérea; c) secagem em estufa d) pesagem de massa seca.....	35
Figura 9 – Registro fotográfico do procedimento de colheita da cevada realizado nas quadras D8 e E9, utilizando a colhedora de parcelas Wintersteiger. a) Alinhamento da colhedora; b) colheita da parcela; c) coleta dos grãos de cevada; d) deposição dos grãos em pacotes.....	36
Figura 10 - Registro fotográfico das avaliações de pós-colheita da cevada realizadas para as quadras D8 e E9 da FESCON. a) Aferição da massa total de cevada; b) aferição da massa de mil grãos; c) verificação do PH; d) umidade das amostras.....	37
Figura 11 - Registros fotográficos da primeira safra da cultivar de cevada Imperatriz, conduzida na FESCON em 2024, abrangendo diferentes momentos do ciclo da cultura, desde a semeadura até a colheita. a) Semeadura da cevada; b) embandeiramento da área; c) cevada aos 60 DAT; d) manejo de plantas infestantes; e) cevada aos 115 DAT; f) colheita da área.....	37
Figura 12 - Registros fotográficos da segunda safra da cultivar de cevada Imperatriz, conduzida na FESCON em 2025, abrangendo diferentes momentos do ciclo da cultura, desde a semeadura	

até a colheita. a) Semeadura da cevada; b) embandeiramento da área; c) cevada aos 20 DAT; d) cevada aos 70 DAT; e) cevada aos 120 DAT; f) colheita da área.....	38
Figura 13 – Porcentagem de controle do azevém avaliada aos 45 (a) e 60 (b) dias após o tratamento (DAT), na safra de 2024, na Quadra D8. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.....	40
Figura 14 – Número de espigas de azevém (a) e massa de espigas (b), avaliados na Quadra D8, no ano de 2024. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.....	41
Figura 15 – Altura de plantas avaliada na Quadra E9 aos 45 DAT, no ano de 2024. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.....	41
Figura 16 – Massa seca da parte aérea (MSPA) avaliada na Quadra E9 aos 45 DAT, no ano de 2024. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.....	42
Figura 17 – Peso de mil grãos (PMG) avaliado nas Quadras D8 (a) e E9 (b), no ano de 2024. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.....	43
Figura 18 – Produtividade (kg ha ⁻¹) avaliada nas Quadras D8 (a) e E9 (b), no ano de 2024. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.....	44
Figura 19 – Porcentagem de controle do azevém avaliada aos 15 (a), 30 (b), 45 (c) e 60 (d) dias após o tratamento (DAT), na safra de 2025, na Quadra D8. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.....	46
Figura 20 – Número de espigas de azevém (a) e massa de espigas (b), avaliados na Quadra D8, no ano de 2025. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.....	47
Figura 21 – Altura de plantas avaliada na Quadra E9 aos 45 DAT, no ano de 2025. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.....	48
Figura 22 – Massa seca da parte aérea (MSPA) avaliada na Quadra E9 aos 45 DAT, no ano de 2025. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.....	49
Figura 23 – Peso de mil grãos (PMG) avaliado nas Quadras D8 (a) e E9 (b), no ano de 2025. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.....	50

Figura 24 – Produtividade (kg ha ⁻¹) avaliada nas Quadras D8 (a) e E9 (b), no ano de 2025. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.....	50
Figura 25 – Imagem aérea da Quadra D8, obtida por veículo aéreo não tripulado (VANT), aos 40 dias após o tratamento (DAT), no ano de 2025, apresentando o croqui do experimento e evidenciando sintomas de fitotoxicidade na cultura da cevada, possivelmente relacionados às condições edafoclimáticas predominantes na safra, que favoreceram a expressão dos efeitos da Pyroxasulfone.....	51
Figura 26 – Imagem aérea da Quadra D8, obtida por veículo aéreo não tripulado (VANT), aos 80 dias após o tratamento (DAT), no ano de 2025, apresentando o croqui do experimento e evidenciando a recuperação da cultura da cevada em relação aos sintomas de fitotoxicidade previamente observados.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados da análise química e granulométrica do solo na camada de 0–20 cm, referentes às Quadras D8 e E9 da Fazenda Escola Capão da Onça da UEPG (FESCON), localizada em Ponta Grossa, PR, 2024.....	31
Tabela 2 - Resultados das avaliações de massa seca de palhada presente nas áreas cultivadas com cevada, durante as safras de 2024/2025.....	31
Tabela 3 - Relação dos tratamentos aplicados, descrição dos herbicidas e doses utilizadas em pré e pós-emergência. Ponta Grossa, PR.....	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3 HIPÓTESE.....	15
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
4.1 CULTURA DA CEVADA.....	16
4.2 INTERFERÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DA CEVADA.....	17
4.3 FATORES QUE AFETAM A EFICÁCIA E SELETIVIDADE DOS HERBICIDAS.....	19
4.3.1 Propriedades físico-químicas dos herbicidas.....	19
4.3.2 Características de solo e clima.....	21
4.3.3 Processos químicos, físicos e biológicos.....	22
4.4 HERBICIDAS PRÉ EMERGENTES E SUA IMPORTÂNCIA NO MANEJO DE AZEVÉM.....	22
4.4.1 Pyroxasulfone.....	23
4.4.2 S-metolachlor.....	25
4.5 MANEJO DE AZEVÉM EM PÓS EMERGÊNCIA.....	27
4.5.1 Pinoxaden.....	28
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
5.1 LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA, DELINEAMENTO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	31
5.2 TRATAMENTOS APLICADOS.....	34
5.3 CONTROLE DE AZEVÉM NA CULTURA DA CEVADA.....	34
5.4 SELETIVIDADE DE HERBICIDAS NA CULTURA DA CEVADA.....	35
5.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	38
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
6.1 PRIMEIRA SAFRA DE CEVADA (2024)	39
6.2 SEGUNDA SAFRA DE CEVADA (2025)	44
7 CONCLUSÕES.....	53
REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) é uma gramínea pertencente à família Poaceae e constitui o quarto cereal de maior importância econômica em escala mundial, destacando-se pela ampla adaptabilidade ecológica e pela utilização na alimentação humana, animal e, principalmente, na indústria cervejira, em razão da elevada qualidade de seu malte (Ullmann, 2002; Caierão, 2009). Apesar de seu expressivo valor econômico, a cultura pode ter sua produtividade e rentabilidade comprometidas por diversos fatores, dentre os quais se destacam as plantas daninhas, que competem diretamente por água, luz e nutrientes, limitando o pleno desenvolvimento da cultura (Gazziero *et al.*, 2019).

Diante desse cenário, o controle de plantas daninhas torna-se uma etapa essencial no manejo da cevada, sendo o método químico, por meio da aplicação de herbicidas, o mais utilizado (Balem *et al.*, 2021). Essa estratégia se destaca pela elevada eficiência operacional, rapidez de ação, amplo espectro de controle e pela disponibilidade de produtos seletivos às culturas agrícolas (Carvalho, 2013b). No entanto, apesar de suas vantagens, o uso contínuo de herbicidas apresenta limitações importantes, como riscos de toxicidade, possíveis injúrias à cultura e, sobretudo, a seleção de biótipos resistentes. A resistência é caracterizada pela capacidade de uma planta sobreviver e se reproduzir após a exposição a doses de herbicidas que seriam normalmente letais a indivíduos suscetíveis da mesma espécie (Heap, 2014).

Entre as espécies daninhas de maior relevância na cultura da cevada, o azevém (*Lolium multiflorum*) destaca-se por sua elevada competitividade, decorrente da similaridade fisiológica com a cultura e da intensa disputa por recursos ambientais (Agostinetto *et al.*, 2017). Adicionalmente, populações dessa espécie têm apresentado resistência aos herbicidas inibidores das enzimas ALS, ACCase e EPSPS, que representam os principais mecanismos de ação empregados no manejo de plantas daninhas em culturas de inverno (Heap, 2023). Nesse contexto, a adoção de estratégias de manejo preventivas torna-se fundamental, com ênfase no uso de herbicidas pré-emergentes. Esses produtos atuam no solo antes da emergência das plantas daninhas, apresentam efeito residual e contribuem para a redução da pressão de seleção, além de favorecer o estabelecimento inicial da cultura (HRAC, 2024).

Paralelamente à eficiência no controle, a seletividade dos herbicidas assume papel central no manejo da cevada, uma vez que o controle adequado das plantas daninhas deve ocorrer sem causar prejuízos significativos à cultura. Contudo, fatores como condições climáticas adversas, falhas na aplicação ou uso de doses inadequadas podem interferir nos processos fisiológicos da planta cultivada, comprometer seus mecanismos de defesa e resultar

em sintomas de fitotoxicidade (Carvalho, 2013b). Dessa forma, a relevância econômica da cultura da cevada, associada aos desafios decorrentes da resistência do azevém, reforça a necessidade de estudos que avaliem, de maneira integrada, a eficiência e a seletividade de herbicidas com diferentes mecanismos de ação, visando ao estabelecimento de estratégias de manejo eficientes. O presente trabalho tem como objetivo identificar alternativas químicas capazes de assegurar o controle eficaz do azevém, sem comprometer o desenvolvimento e a produtividade da cultura da cevada.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficácia e a seletividade de programas de manejo químico, envolvendo herbicidas aplicados em pré e/ou pós-emergência, no controle do azevém (*Lolium multiflorum*) na cultura da cevada (*Hordeum vulgare* L.).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar o potencial de controle de azevém dos herbicidas pré-emergentes S-metolachlor e Pyroxasulfone, quando aplicados isoladamente ou associados.

Verificar a eficiência do Pinoxaden aplicado em pós-emergência, isoladamente ou integrado a programas sequenciais com S-metolachlor e Pyroxasulfone.

Avaliar a fitotoxicidade, crescimento e produtividade da cultura da cevada submetida a aplicações em pré-emergência.

3 HIPÓTESE

A adoção de programas de manejo que associem herbicidas pré e pós-emergentes, proporcionará maior eficiência no controle do azevém, mantendo seletividade à cultura da cevada e não interferindo na produtividade.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 CULTURA DA CEVADA

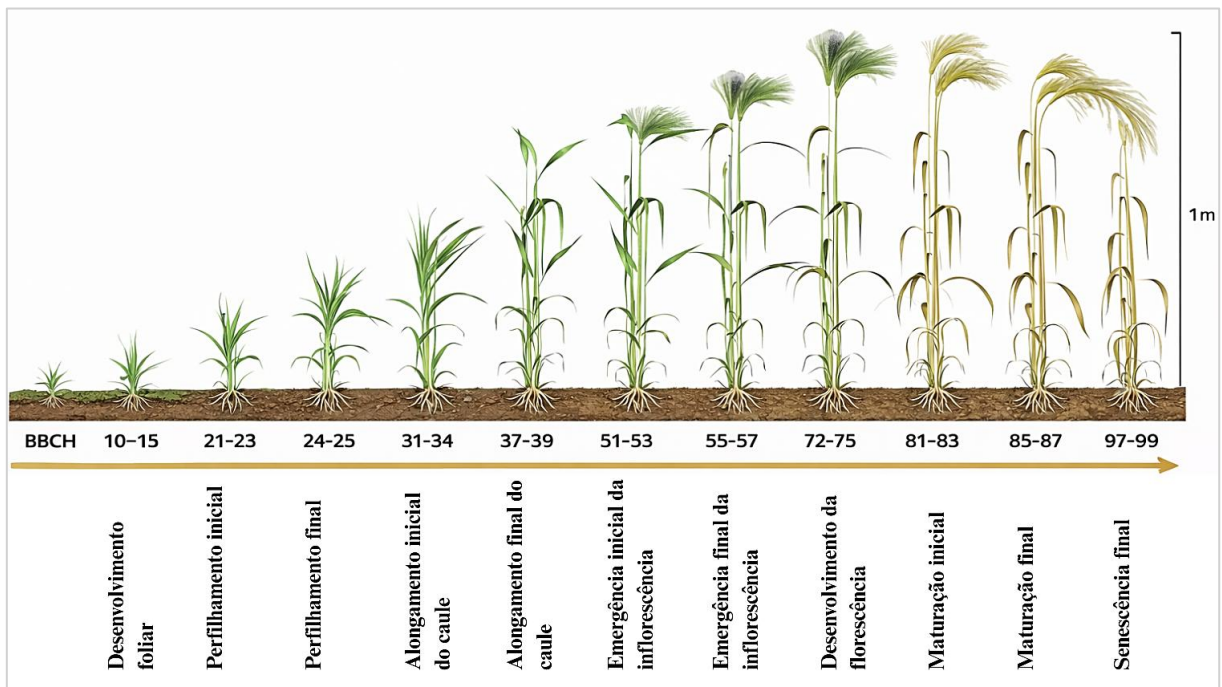
A cevada (*Hordeum vulgare* L.) é um cereal de inverno de ampla relevância agronômica, utilizado tanto na alimentação humana e animal quanto, de forma estratégica, como principal matéria-prima da indústria cervejeira (Hong; Zhang, 2020). Em razão de sua importância econômica e adaptabilidade, ocupa a quarta posição entre os cereais mais cultivados no mundo, atrás apenas do trigo, milho e arroz, com expressiva concentração produtiva no continente europeu (EMBRAPA, 2023).

A destinação da produção de cevada varia de acordo com a finalidade e o contexto produtivo. Em nível mundial, estima-se que cerca de 90% dos grãos sejam direcionados à alimentação animal, enquanto aproximadamente 5% são utilizados para a produção de malte e outros 5% para fins de semeadura. No contexto brasileiro, entretanto, essa distribuição apresenta particularidades, uma vez que a legislação vigente determina que a cevada colhida seja preferencialmente destinada à indústria do malte, excetuando-se situações em que a qualidade do grão não atenda aos padrões exigidos pelo setor cervejeiro (CONAB, 1996).

Essa especificidade do mercado nacional influencia diretamente a organização da cadeia produtiva e a distribuição geográfica da cultura no país. A produção brasileira de cevada é estimada em 511,7 mil toneladas, cultivadas em uma área aproximada de 132,5 mil hectares, o que resulta em produtividade média de 3,8 t ha⁻¹ (CONAB, 2025). Os estados do Paraná e do Rio Grande do Sul concentram a maior parte dessa produção, com volumes de 396,2 mil e 102,4 mil toneladas, respectivamente. No Paraná, destaca-se o município de Guarapuava, responsável por cerca de 57% da área cultivada no estado (IBGE, 2025).

Do ponto de vista agrônômico, o cultivo da cevada ocorre preferencialmente nos períodos de outono e inverno, sendo o desenvolvimento da cultura caracterizado por estágios fenológicos bem definidos (Figura 1), cuja duração e progressão são influenciadas pela cultivar, pela região de cultivo, pela época de semeadura e pelas condições ambientais, resultando em um ciclo total que, em geral, varia entre 127 e 137 dias. Na região Sul do Brasil, recomenda-se a semeadura entre os meses de maio e meados de junho (EMBRAPA, 2023). Para alcançar grãos com qualidade adequada à indústria cervejeira, são desejáveis condições ambientais caracterizadas por temperaturas amenas, elevada luminosidade e baixa umidade relativa do ar, sobretudo durante as fases de enchimento e maturação dos grãos (Mayer, 2007).

Figura 1 - Estágios fenológicos modelados da cevada de inverno, conforme a escala BBCH, abrangendo desde a emergência até a maturação fisiológica, com a identificação dos principais eventos do desenvolvimento da cultura e seus respectivos códigos.



Fonte: A autora, adaptado de Kuester e Spengler (2018).

Dentro dos sistemas de produção, a cevada apresenta relevância estratégica na rotação de culturas, uma vez que seu ciclo precoce em relação aos demais cereais de inverno permite a liberação antecipada da área agrícola, favorecendo o estabelecimento oportuno de culturas de verão, como a soja. Adicionalmente, o desenvolvimento de um sistema radicular denso contribui para o aumento da porosidade do solo, resultando em melhorias nas condições físicas e benefícios às culturas em sucessão (Minella, 2007).

4.2 INTERFERÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DA CEVADA

A interferência das plantas daninhas é um dos fatores que reduzem significativamente o rendimento das culturas. Além de afetar a qualidade do produto, elas podem causar danos diretos e indiretos aos cultivos. Os efeitos diretos são causados pela competição por recursos, como água, luz, nutrientes e espaço, além do efeito deletério causado pela alelopatia (Pitelli, 2014). Quanto aos danos indiretos, as plantas infestantes podem servir de “ponte verde”, sendo hospedeiras de pragas, doenças e nematoides, além de interferirem na eficiência de tratamentos culturais e na colheita da cultura (Concenção *et al.*, 2014).

Os prejuízos causados pelas plantas daninhas dependem do momento e da duração da competição com a cultura. Inicialmente, ocorre o período anterior à interferência (PAI), no qual

a convivência não afeta significativamente a produtividade. Em seguida, há o período total de prevenção da interferência (PTPI), durante o qual a cultura deve permanecer livre de plantas daninhas. A partir da relação entre esses períodos, define-se o período crítico de prevenção da interferência (PCPI), correspondente ao intervalo em que o controle é essencial para evitar perdas produtivas (Brighenti *et al.*, 2004). Basso *et al.* (2015) destacam que, para a cultura da cevada, o PCPI varia dos 12 aos 22 dias após a emergência.

Dentre as diversas espécies de plantas daninhas que infestam as lavouras de cevada, destaca-se o azevém (*Lolium multiflorum*), gramínea de inverno pertencente à família das *Poaceas* (Tironi *et al.*, 2014). Trata-se de uma espécie anual, muito utilizada no sul do país como forragem, e para fornecimento de palha para o sistema plantio direto. Por outro lado, é caracterizado como planta daninha por ser de fácil dispersão (Vargas *et al.*, 2015).

Essa espécie apresenta elevado potencial competitivo ao infestar a cultura, competindo por recursos disponíveis no meio, como água, luz, CO₂ e nutrientes, alterando a expressão do potencial produtivo da cultura e dificultando a expansão da área cultivada (Nunes *et al.*, 2007). Por pertencer à mesma família botânica da cevada e apresentar características morfofisiológicas semelhantes, há grande dificuldade para o seu controle químico, em razão da seletividade à cultura e da eficácia dos herbicidas (Galon *et al.*, 2011). No estudo de Pies *et al.* (2019), verificou-se que deve ser feito o controle de azevém a partir de quatro plantas por m² para que o rendimento da cevada não seja afetado negativamente.

O manejo químico tem sido a principal ferramenta para o controle de azevém, porém, com o uso inadequado dos herbicidas, muitas populações têm se tornado resistentes (Kaundun *et al.*, 2013; Heap, 2023). O primeiro caso de resistência de azevém deve-se à aplicação repetida e continuada de glifosato, inibidor da enzima 5-enolpiruvatoshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS). A resistência do azevém ao glifosato impulsionou o uso de herbicidas inibidores da ALS e da ACCase como principais ferramentas de controle (Vargas *et al.*, 2015). No entanto, a pressão de seleção exercida pelo uso recorrente desses mecanismos contribuiu para o surgimento de biótipos resistentes, incluindo casos de resistência múltipla, conforme evidenciado por Vázquez-García *et al.* (2020).

O manejo de biótipos resistentes deve ser baseado na alternância de mecanismos de ação, evitando a repetição do mesmo mecanismo em um mesmo ano agrícola e o uso de herbicidas aos quais já exista resistência (Agostinetto; Vargas, 2009). O grupo K3 (S-metolachlor e Pyroxasulfone) tem sido importante em áreas com resistência múltipla, embora também sujeito à seleção de resistência metabólica (Kerr *et al.*, 2023; Yu *et al.*, 2024).

Estratégias que reduzam a pressão de seleção são fundamentais para conter a evolução da resistência. Nesse contexto, a mistura de herbicidas com diferentes mecanismos de ação apresenta maior eficiência e maior durabilidade de controle quando comparada à aplicação isolada dos produtos (Vargas; Roman, 2006). Conforme destacado por Evans *et al.* (2015), o manejo sustentável de plantas daninhas depende da adoção de práticas diversificadas ao longo do tempo.

4.3 FATORES QUE AFETAM A EFICÁCIA E SELETIVIDADE DOS HERBICIDAS

A eficiência dos herbicidas refere-se à sua capacidade de promover o controle ou a eliminação das plantas daninhas (Melhorança, 2000). Já a seletividade está associada à habilidade do produto em controlar as espécies infestantes sem causar efeitos fitotóxicos à cultura-alvo, assegurando a manutenção da produtividade e da qualidade do produto colhido (Oliveira Jr.; Inoue, 2011). Nesse contexto, Lovarelli *et al.* (2020) destacam que o desempenho produtivo das culturas depende diretamente tanto da seletividade dos herbicidas quanto da eficiência das estratégias de manejo de plantas daninhas adotadas.

Na cultura da cevada, o controle químico apresenta limitações em função do número restrito de herbicidas registrados e seletivos. A utilização inadequada desses produtos pode resultar em injúrias severas à cultura, comprometendo o crescimento e o desenvolvimento das plantas e, consequentemente, a produtividade e a qualidade dos grãos (AGROFIT, 2024).

As injúrias causadas pela aplicação de herbicidas caracterizam-se como fitotoxicidades, manifestando-se por sintomas como clorose, necrose e deformações em órgãos aéreos e radiculares, podendo, em situações mais severas, culminar na morte das plantas (Matte, 2017). A intensidade desses sintomas, bem como a eficiência do produto químico, está relacionada a diversos fatores, destacando-se as propriedades físico-químicas dos herbicidas, as condições edafoclimáticas e os processos que regem sua dinâmica no solo (Correia; Carvalho, 2021).

4.3.1 Propriedades físico-químicas dos herbicidas

As principais propriedades físico-químicas dos herbicidas incluem a solubilidade em água (S), a pressão de vapor (Pv), o coeficiente de partição octanol-água (Kow), a constante de ionização ácida (pKa) ou básica (pKb), a constante da lei de Henry (Kh) e a reatividade ou meia-vida ($t_{1/2}$) (Oliveira; Brighenti, 2011). O conhecimento dessas propriedades é essencial para a compreensão do comportamento dos herbicidas no ambiente, permitindo prever sua mobilidade, persistência e potenciais impactos ambientais, além de subsidiar estratégias que

minimizem perdas, riscos ambientais e efeitos residuais indesejáveis (Mancuso; Negrisoli; Perim, 2011).

Nesse contexto, a solubilidade em água (S) expressa a capacidade do herbicida de se dissolver em meio aquoso sob condições controladas de temperatura e pressão, constituindo um dos principais parâmetros relacionados à mobilidade no solo e à sua distribuição no ciclo hidrológico (Silva *et al.*, 2014). Em complemento, a pressão de vapor (Pv) está diretamente associada à tendência de volatilização das moléculas, influenciando a persistência do herbicida no solo e o risco de transporte para a atmosfera e para áreas não alvo (Lavorenti, 1996).

Além desses parâmetros, o coeficiente de partição octanol-água (Kow) fornece informações relevantes sobre a hidrofobicidade do herbicida e sua tendência de distribuição entre fases aquosas e orgânicas (Dai *et al.*, 1998). Herbicidas com valores elevados de Kow apresentam caráter lipofílico, maior afinidade por materiais de origem orgânica, maior adsorção à matéria orgânica do solo e maior interação com ceras epicuticulares na superfície foliar. Por outro lado, moléculas com baixos valores de Kow são mais hidrofílicas e, conseqüentemente, apresentam maior solubilidade em água, sendo esses dois parâmetros, de modo geral, inversamente proporcionais (Regitano, 2002).

Outro fator determinante para o comportamento ambiental dos herbicidas é a constante de ionização ácida (pKa), que expressa a tendência de ionização da molécula em função do pH do solo, indicando a proporção entre as formas ionizada e não ionizada. O valor de pKa corresponde ao pH em que 50% das moléculas se encontram na forma molecular e 50% na forma ionizada, permitindo a classificação dos herbicidas como ácidos, básicos ou não iônicos (Silva *et al.*, 2014). Nesse sentido, Oliveira e Brighenti (2011) destacam que, diferentemente de herbicidas com comportamento ácido (paraquat e diquat) ou básico (imidazolinonas e sulfoniluréias) em solução, o S-metolachlor e a Pyroxasulfone não sofrem ionização, sendo classificados como herbicidas não iônicos.

Por fim, a constante da lei de Henry (Kh) representa o coeficiente de partição entre as fases líquida e gasosa, sendo amplamente utilizada para estimar o potencial de volatilização dos herbicidas no ambiente (Pessoa *et al.*, 2004). Valores elevados de Kh indicam maior propensão à volatilização (Lyman *et al.*, 1982). De forma complementar, a reatividade ou meia-vida ($t_{1/2}$) corresponde ao tempo necessário para a degradação de 50% da massa inicial do herbicida, refletindo sua persistência ambiental e a velocidade de transformação em outros compostos ao longo do tempo (Carvalho, 2013a).

4.3.2 Características de solo e clima

A textura do solo exerce papel determinante na dinâmica dos herbicidas, uma vez que os minerais de argila apresentam elevada capacidade de adsorção do ingrediente ativo. Dessa forma, solos com maior teor de argila tendem a reduzir a disponibilidade do herbicida na solução do solo, o que pode comprometer sua eficácia e exigir ajustes de dose para atingir níveis adequados de controle (Christoffoleti *et al.*, 2008). Em contrapartida, solos arenosos apresentam menor retenção do produto, favorecendo maior mobilidade no perfil do solo e aumentando a suscetibilidade à degradação microbiana e à lixiviação (Mendes *et al.*, 2019).

Além das características intrínsecas do solo, fatores climáticos também exercem influência significativa sobre a eficiência dos herbicidas. A temperatura, em particular, constitui um elemento decisivo, pois interfere diretamente em processos como volatilização, degradação química e metabolismo das plantas daninhas. Temperaturas elevadas podem intensificar as perdas do produto e reduzir sua persistência no solo e na superfície foliar, enquanto temperaturas mais baixas tendem a diminuir a atividade metabólica das plantas daninhas, limitando a absorção e a translocação e retardando a manifestação dos efeitos herbicidas (Kumar *et al.*, 2023). Nesse contexto, estudos indicam que diferentes herbicidas podem apresentar respostas distintas às condições térmicas, com melhor desempenho sob temperaturas elevadas, amenas ou mesmo em ampla faixa térmica (Abu-Nassar; Matzrafi, 2025).

Outro fator relevante a ser considerado é a presença de cobertura vegetal, a qual pode modificar substancialmente o comportamento dos herbicidas no ambiente. A palhada atua como uma barreira física capaz de interceptar parte significativa da calda aplicada, especialmente em sistemas de plantio direto, nos quais grande fração do produto permanece retida na superfície do solo (Aslam *et al.*, 2014; Khalil *et al.*, 2018). Quanto maior o período de permanência do herbicida sobre a palha, maior é sua exposição a processos de perda, como volatilização e fotodegradação, reduzindo a quantidade que efetivamente atinge o solo e, consequentemente, interferindo na eficiência do controle das plantas daninhas (Rodrigues; Almeida, 2018).

Ademais, a umidade do solo exerce influência decisiva na dinâmica dos herbicidas, uma vez que a água é essencial para sua solubilização, disponibilidade e absorção pelas plantas daninhas (EMBRAPA, 2018). Entretanto, o excesso de água pode favorecer o transporte dos produtos por escoamento superficial, deslocando-os juntamente com partículas de solo para áreas não tratadas após eventos de precipitação. Além disso, a lixiviação constitui um dos principais mecanismos de mobilidade no solo, especialmente para moléculas solúveis e pouco

voláteis, cujo deslocamento ocorre acompanhando o fluxo hídrico e os gradientes de potencial da água no perfil do solo (Prata *et al.*, 2003; Oliveira; Brighenti, 2011).

4.3.3 Processos químicos, físicos e biológicos

A fotodecomposição é um importante processo químico de degradação de herbicidas, especialmente daqueles aplicados ao solo, ocorrendo pela absorção de radiação solar na faixa do UV-visível (290–450 nm). Esse processo promove a excitação dos elétrons da molécula, levando à ruptura de ligações químicas e à redução da eficácia do produto, sendo mais pronunciado em herbicidas que absorvem comprimentos de onda superiores a 300 nm (Barroso; Murata, 2021).

Além disso, os herbicidas podem sofrer perdas por volatilização, processo físico no qual o produto passa da solução do solo para a fase gasosa, sendo influenciado por características como estrutura química, peso molecular e pressão de vapor (Oliveira Jr.; Regitano, 2009). Carbonari *et al.* (2020) em seu trabalho sobre volatilização em diferentes superfícies, concluíram que a maior volatilização do herbicida ocorre com aplicação isolada em solo úmido e descoberto, já solos secos e com palha apresentam os menores níveis de volatilidade.

Em relação ao componente biológico, a microbiota do solo, formada por bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários e algas, atua de maneira direta nos processos de degradação de agroquímicos (Angers *et al.*, 1993). Evidências apresentadas por Mulati *et al.* (2025), a partir de estudos com bactérias capazes de degradar glifosato, demonstram que as comunidades microbianas do solo possuem elevada capacidade de adaptação e manutenção de seu equilíbrio funcional. Segundo Monteiro (2001), herbicidas que apresentam em sua composição carbono, nitrogênio ou fósforo podem ser metabolizados pelos microrganismos do solo, passando a integrar os ciclos biogeoquímicos como fontes de nutrientes.

4.4 HERBICIDAS PRÉ EMERGENTES E SUA IMPORTÂNCIA NO MANEJO DE AZEVÉM

Os herbicidas pré-emergentes são aplicados no solo antes da emergência das plantas daninhas e da cultura, podendo ser utilizados nos sistemas plante/aplique ou aplique/plante. Apresentam elevado efeito residual no solo e atuam principalmente sobre a emergência das infestantes, contribuindo para a redução do banco de sementes e da interferência inicial sobre a cultura. Dessa forma, favorecem a manutenção da área livre de competição durante o período

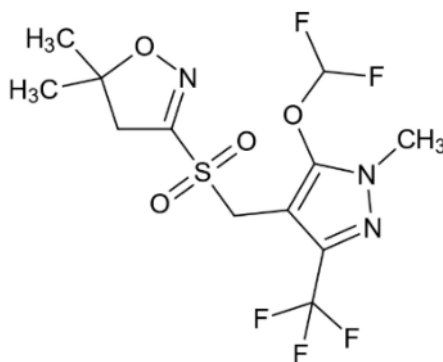
crítico de prevenção à interferência (PCPI), preservando o potencial produtivo das culturas (Rizzardi, 2021).

No entanto, a persistência desses herbicidas no solo deve ser considerada para evitar efeitos residuais em culturas subsequentes sensíveis, sendo influenciada por processos de adsorção, lixiviação e degradação ou transformação biológica, que regulam sua concentração, mobilidade e tempo de permanência na solução do solo (Inoue *et al.*, 2011). Sua absorção ocorre principalmente pelas raízes, órgãos subterrâneos e pelo epicótilo das plântulas, sendo favorecida nos estádios iniciais de desenvolvimento devido à ausência de tecidos suberizados, cutícula e estrias de Caspary, o que facilita a entrada e o movimento do herbicida na planta (Monquero; Hirata, 2014).

4.4.1 Pyroxasulfone

É um herbicida pré-emergente pertencente ao grupo químico das isoxazolina-3-sulfonamidas e ao grupo K3 segundo a classificação do Herbicide Resistance Action Committee (HRAC), atuando como inibidor da síntese de ácidos graxos de cadeia muito longa (VLCFA). Desenvolvida para uso em sistemas agrícolas baseados em culturas como cereais de inverno, milho e soja, destaca-se pela elevada eficácia no controle de espécies gramíneas e algumas folhas largas, especialmente no manejo de plantas daninhas com histórico de resistência a mecanismos como ALS, ACCase e EPSPS (Rizzardi, 2019). Sua estrutura molecular está representada na Figura 2.

Figura 2 – Representação bidimensional (2D) da estrutura molecular do Pyroxasulfone, evidenciando a disposição dos átomos e das ligações químicas que compõem a molécula.



Fonte: Pesticide Properties Database (PPDB).

O Pyroxasulfone apresenta solubilidade moderada em água, baixa pressão de vapor e elevado coeficiente de sorção ao carbono orgânico (Koc), o que lhe confere elevada estabilidade no solo e baixo potencial de volatilização (Shaner, 2014). Yamaji *et al.* (2016) destacam que a reduzida solubilidade em água limita a difusão horizontal do herbicida na superfície do solo, enquanto a baixa pressão de vapor está associada a risco mínimo de perdas por volatilização.

Sua degradação no solo ocorre de forma lenta a moderada, resultando em efeito residual prolongado, o qual varia conforme as condições ambientais. Nesse sentido, Mueller e Steckel (2011) observaram maior persistência do Pyroxasulfone em relação ao S-metolachlor, especialmente em anos secos, característica que favorece o controle de fluxos subsequentes de germinação e é particularmente vantajosa para culturas de baixo vigor inicial, como a maioria dos cereais de inverno (Shaner, 2014).

A mobilidade da Pyroxasulfone no solo é classificada como baixa a moderada, sendo fortemente influenciada pela textura e pelo teor de matéria orgânica. Em solos argilosos, a maior adsorção do herbicida reduz o risco de lixiviação, porém pode limitar sua disponibilidade para as plantas daninhas, demandando ajustes na dose aplicada. Esse comportamento está de acordo com os resultados obtidos por Walsh *et al.* (2011), que relataram efeitos do tipo de solo sobre a eficácia da Pyroxasulfone, com necessidade de doses mais elevadas em ambientes com maior teor de argila.

Em contrapartida, em solos arenosos, a menor retenção favorece a presença do herbicida na solução do solo, aumentando o potencial de controle, mas também elevando o risco de movimentação para camadas mais profundas, especialmente sob condições de chuvas intensas após a aplicação. A degradação do Pyroxasulfone ocorre predominantemente por processos microbianos, sendo intensificada em ambientes com maior temperatura e umidade (Westra *et al.*, 2014).

Em relação à seletividade, o Pyroxasulfone apresenta bom desempenho para cereais de inverno, como trigo e cevada, sendo essa característica atribuída, principalmente, à rápida metabolização da molécula pelas culturas tolerantes e à sua decomposição antes de atingir concentrações fitotóxicas no entorno da semente. No entanto, a seletividade pode ser influenciada por fatores edafoclimáticos, como temperatura, umidade e textura do solo, podendo ocorrer sintomas leves de fitotoxicidade em condições de elevada umidade e solos com baixo teor de matéria orgânica, nos quais há maior disponibilidade do herbicida (Tanetani *et al.*, 2013).

Diversos estudos demonstram elevada eficiência do Pyroxasulfone no controle de azevém (*Lolium multiflorum*), inclusive em populações resistentes aos inibidores da ACCase e

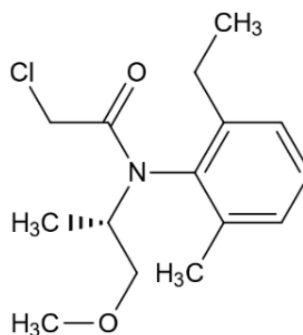
ALS. Machado *et al.* (2023) observaram que o Pyroxasulfone apresentou eficácia igual ou superior às maiores doses de S-metolachlor, atuando principalmente sobre os primeiros fluxos de emergência e contribuindo para a redução do banco de sementes ao longo do tempo. Em sistemas de cultivo com cereais de inverno, o Pyroxasulfone é frequentemente relatado como uma das alternativas mais eficientes entre os herbicidas pré-emergentes disponíveis, conforme destacado por Scheer *et al.* (2025).

Além disso, por ser um herbicida exclusivamente pré-emergente, não apresenta efeito sobre plantas já estabelecidas, sendo recomendada sua utilização em programas de manejo sequencial com herbicidas pós-emergentes (Novais *et al.*, 2022). No Brasil, o produto comercial Yamato[®] (Ihara), formulado com 50% de Pyroxasulfone, é registrado para aplicação em pré-emergência de diversas culturas, atuando principalmente por absorção radicular e pela parte aérea emergente, com translocação acropetal e inibição do crescimento do meristema apical e do coleótilo em espécies suscetíveis (AGROFIT, 2024; Rizzardi, 2019).

4.4.2 S-metolachlor

O S-metolachlor é um herbicida do grupo químico das cloroacetanilidas, amplamente utilizado como pré-emergente para o controle de gramíneas anuais e algumas espécies de folhas largas. Pertence ao mecanismo de ação dos inibidores da biossíntese de ácidos graxos de cadeia muito longa (VLCFA), classificados pelo HRAC como Grupo K3. Sua ação ocorre principalmente durante a germinação, quando o ingrediente ativo é absorvido pelos coleóptilos e radículas, interferindo na elongação celular e impedindo o desenvolvimento normal dos tecidos meristemáticos (HRAC, 2024). Sua estrutura molecular está representada na Figura 3.

Figura 3 – Representação bidimensional (2D) da estrutura molecular do S-metolachlor, evidenciando a disposição dos átomos e das ligações químicas que compõem a molécula.



Fonte: Pesticide Properties Database (PPDB).

O Metolachlor foi inicialmente introduzido no mercado sob a forma racêmica, composta por proporções equivalentes dos enantiômeros R e S. Entretanto, estudos posteriores demonstraram que aproximadamente 95% da atividade herbicida do Metolachlor está associada aos diastereoisômeros com configuração (1'S) (Blaser; Spindler, 1997). Nesse contexto, verificou-se que formulações contendo cerca de 90% dos isômeros 1'S apresentam efeito biológico equivalente a aproximadamente 65% da dose do produto racêmico. A partir de 1997, diversos países passaram a substituir o Metolachlor racêmico pelo S-metolachlor, em virtude de sua maior atividade específica, o que permite a redução das doses aplicadas, diminui a carga ambiental por aplicação e favorece maior seletividade às culturas agrícolas (Liu; Xiong, 2009).

No ambiente edáfico, o S-metolachlor apresenta solubilidade moderada a elevada, hidrofobicidade intermediária e elevada afinidade por matéria orgânica e frações argilosas. Essas características favorecem sua retenção em solos com maior teor de argila, reduzindo sua concentração na solução do solo. Em contrapartida, solos de textura arenosa, em função da menor capacidade de adsorção, tendem a promover maior mobilidade do herbicida, aumentando o risco de lixiviação, especialmente sob condições de elevada precipitação pluvial ou irrigação excessiva. Dessa forma, a textura do solo configura-se como um fator determinante para o ajuste das doses de aplicação do herbicida (Shaner, 2014). Esse comportamento foi evidenciado por Silva Jr. *et al.* (2015), que observaram maior percolação do S-metolachlor em solos arenosos.

A degradação do S-metolachlor no solo ocorre por meio de processos físico-químicos e biológicos, sendo a microbiodegradação a principal via de dissipação. Esse processo é favorecido em solos com elevada atividade microbiana, temperaturas mais altas e umidade adequada. A fotodegradação pode ocorrer quando o herbicida permanece por períodos prolongados sobre a palhada, antes de alcançar o solo, o que pode comprometer sua eficácia. O tempo de meia-vida (DT_{50}) do S-metolachlor varia amplamente em função das condições ambientais, podendo oscilar entre 15 e 100 dias, o que o caracteriza como um herbicida de persistência moderada (Wołejko *et al.*, 2017).

A umidade do solo exerce papel central na eficácia do S-metolachlor, uma vez que sua movimentação no perfil é diretamente dependente do fluxo de água. Em condições de déficit hídrico após a aplicação, a incorporação do herbicida é limitada, reduzindo o contato com as sementes das plantas daninhas. Por outro lado, o excesso de umidade favorece perdas por lixiviação e transporte superficial associado à erosão. Temperaturas elevadas podem intensificar perdas por volatilização, enquanto temperaturas mais baixas reduzem a velocidade de absorção e retardam a ação herbicida (Silva *et al.*, 2022). Adicionalmente, Long, Li e Wu (2014)

relatarem que a redução da temperatura e da umidade do solo resulta no prolongamento da meia-vida do S-metolachlor.

Quanto à seletividade, o S-metolachlor é considerado seguro para diversas culturas, incluindo cereais de inverno, quando aplicado nas doses recomendadas (Takano *et al.*, 2018). A seletividade está relacionada, principalmente, à capacidade das culturas em metabolizar rapidamente o herbicida, convertendo-o em compostos menos tóxicos. No entanto, sob condições ambientais adversas, como baixas temperaturas, excesso de precipitação ou em solos de textura muito arenosa, essa seletividade pode ser reduzida, elevando o risco de ocorrência de fitotoxicidade (Procópio *et al.*, 2003).

O produto comercial utilizado chama-se Dual Gold®, da empresa Syngenta, classificado como herbicida pré-emergente. Possui registro para diversas culturas, podendo ser usado em pré-emergência das plantas infestantes e da cultura, em pré-emergência das plantas infestantes e pós-emergência da cultura, e em aplicação sequencial (AGROFIT, 2024). A absorção ocorre principalmente pelo coleóptilo em monocotiledôneas e pelo hipocótilo em dicotiledôneas. Os sintomas característicos incluem endurecimento dos tecidos e retração dos caulículos em monocotiledôneas, enquanto nas dicotiledôneas observa-se clorose progressiva, necrose e morte da planta, muitas vezes antes mesmo da emergência visível na superfície do solo (Quintaneiro *et al.*, 2017).

De modo geral, S-metolachlor e Pyroxasulfone constituem a base do manejo residual. O S-metolachlor se destaca no controle de gramíneas, embora seja mais móvel em solos arenosos (Oliveira Jr. *et al.*, 2011; Rizzardi *et al.*, 2020); e a Pyroxasulfone surge como molécula de nova geração, altamente eficiente em diferentes sistemas (Beckie; Harker, 2017; Yu *et al.*, 2024).

4.5 MANEJO DE AZEVÉM EM PÓS EMERGÊNCIA

A aplicação de herbicidas em pós-emergência é realizada após a emergência das plantas daninhas, antes que estas passem a competir de forma significativa com a cultura. Nessa modalidade de manejo, os produtos são aplicados diretamente na parte aérea, podendo ser absorvidos pela cutícula e pelos estômatos. A partir disso, os herbicidas podem atuar de forma sistêmica, com translocação pelo sistema vascular da planta, ou como produtos de contato, que afetam apenas os tecidos diretamente atingidos. Em comparação ao manejo em pré-emergência, o controle em pós-emergência apresenta maior risco de prejuízos decorrentes da competição inicial entre a cultura e as plantas daninhas, caso a aplicação não seja realizada no momento adequado (Carvalho, 2013a).

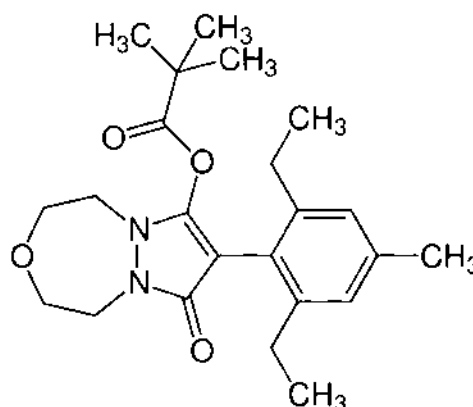
Em razão dessas características, a eficiência dos herbicidas aplicados em pós-emergência está fortemente condicionada às condições ambientais no momento da aplicação, as quais devem ser favoráveis à absorção e à translocação do produto. De modo geral, consideram-se ideais temperaturas entre 20 e 30 °C e umidade relativa do ar variando de 70 a 90%. Além disso, o momento da aplicação é determinante, sendo recomendada sua realização quando a cultura se encontra no estágio de perfilhamento e as plantas daninhas apresentam, no máximo, três a quatro folhas. Ressalta-se, ainda, que a aplicação não deve ser efetuada sob condição de chuva iminente, uma vez que a precipitação pode comprometer a eficiência do tratamento (EMBRAPA, 2006).

Apesar da adoção de práticas adequadas de aplicação, o controle do azevém (*Lolium multiflorum*) em pós-emergência é frequentemente limitado pela ocorrência de resistência a herbicidas pertencentes a diferentes mecanismos de ação. Essa condição dificulta significativamente o manejo químico dessa espécie e reduz a eficiência das aplicações em pós-emergência. Dessa forma, torna-se fundamental o desenvolvimento e a disponibilização de novos produtos no mercado que sejam eficientes no manejo do azevém e, simultaneamente, seletivos aos cereais de inverno (Vargas *et al.*, 2018).

4.5.1 Pinoxaden

O Pinoxaden é um herbicida pós-emergente pertencente ao grupo químico das fenilpirazolinas, amplamente utilizado para o controle seletivo de gramíneas infestantes em culturas de cereais de inverno, como trigo, cevada e centeio. É classificado pelo HRAC como Grupo A, atuando por meio da inibição da acetil-CoA carboxilase (ACCase), enzima essencial para a biossíntese de ácidos graxos. A inibição da ACCase leva à interrupção da síntese de lipídios de membrana, comprometendo a integridade celular e resultando em necrose dos tecidos meristemáticos, com morte gradual da planta (Tang *et al.*, 2014). Sua estrutura molecular está representada na Figura 4.

Figura 4 – Representação bidimensional (2D) da estrutura molecular do Pinoxaden, evidenciando a disposição dos átomos e das ligações químicas que compõem a molécula.



Fonte: Pesticide Properties Database (PPDB).

A seletividade do Pinoxaden às culturas da cevada e do trigo está diretamente associada à presença do antídoto cloquintocet-mexyl nas formulações comerciais. Esse composto atua promovendo a aceleração dos processos de detoxificação do herbicida nas plantas cultivadas, por meio do aumento da atividade enzimática relacionada ao metabolismo secundário (Taylor *et al.*, 2013). Em consequência, o ingrediente ativo é rapidamente metabolizado nas culturas, prevenindo a ocorrência de efeitos fitotóxicos, enquanto as plantas daninhas permanecem suscetíveis em função da ausência desses mecanismos de desintoxicação (Landau; Jamison; Riechers, 2025). Muehlebach *et al.* (2011), conferiram elevada tolerância de Pinoxaden às culturas de trigo e cevada, demonstraram que a associação do Pinoxaden ao cloquintocet-mexyl resulta em maior degradação metabólica do herbicida, garantindo ampla margem de seletividade.

Além disso, o comportamento ambiental do Pinoxaden também contribui para seu uso seguro em sistemas agrícolas. De modo geral, o herbicida apresenta baixo potencial de lixiviação no solo, uma vez que é aplicado em pós-emergência e absorvido predominantemente pelas folhas. Também é rapidamente degradado por processos químicos e microbianos, com meia-vida no solo variando entre 1 e 7 dias, o que reduz significativamente os riscos de *carryover* para culturas subsequentes e de contaminação ambiental, conferindo-lhe um perfil favorável sob a perspectiva da sustentabilidade (Leon, 2019). Resultados obtidos por Sondhia, Pawar e Dasari (2023), em estudos conduzidos em áreas de cultivo de trigo, corroboram essas informações ao evidenciarem a rápida degradação do Pinoxaden e sua segurança no controle de plantas daninhas, sem prejuízos à produção agrícola, ao meio ambiente ou à saúde humana.

Apesar dessas características favoráveis, o uso contínuo de herbicidas inibidores da ACCase tem levado ao surgimento de populações resistentes de azevém (*Lolium* spp.) em diferentes regiões do mundo. Essas resistências estão, em geral, associadas a mutações no gene que codifica a enzima ACCase, as quais reduzem a afinidade do herbicida pelo seu sítio de ação, comprometendo a eficiência do controle químico. Diante desse cenário, recomenda-se que o uso do Pinoxaden seja integrado a estratégias de manejo, evitando aplicações repetidas e sequenciais do mesmo mecanismo de ação e priorizando sua rotação ou associação com herbicidas de mecanismos distintos (Basak *et al.*, 2020).

Considerando essas recomendações de manejo, o produto comercial utilizado neste estudo é o Axial[®], da empresa Syngenta, cuja aplicação é indicada em pós-emergência, entre 15 e 25 dias após a emergência da cultura. Após a aplicação, o herbicida promove a paralisação do crescimento das plantas daninhas, seguida pelo aparecimento de clorose foliar e necrose das regiões meristemáticas acima dos nós. Adicionalmente, folhas mais velhas podem apresentar coloração arroxeadas ou avermelhadas, evoluindo para necrose e culminando na morte das plantas ao longo de algumas semanas (AGROFIT, 2024).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA, DELINEAMENTO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram realizados na Fazenda Escola Capão da Onça (FESCON), situada à Rodovia PR-513, Ponta Grossa/PR, à latitude de 25°05'30" sul e 50°03'18" a oeste, em uma área com altitude média de 1.002 metros em relação ao nível do mar. O clima da região é do tipo Cfb, subtropical úmido, com temperatura média anual de 18 °C e precipitação pluvial média anual de 1550 mm (Nitsche *et al.*, 2019).

O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (Santos *et al.*, 2018), de textura franco-argilo-arenosa (Gee; Bauder, 1986). Os resultados da análise química e granulométrica do solo, na profundidade de 0-20 cm, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados da análise química e granulométrica do solo na camada de 0–20 cm, referentes às Quadras D8 e E9 da Fazenda Escola Capão da Onça da UEPG (FESCON), localizada em Ponta Grossa, PR, 2024.

Quadra D8												
pH	K	Ca	Mg	H + Al	Al	SB	CTC	V	m	Areia	Argila	Silte
CaCl ²	-----			mmolc dm ⁻³	-----			-----	% --	-----		
4.7	2.9	22	7	47	7	31.9	78.9	40	18	64%	30%	6%

Quadra E9												
pH	K	Ca	Mg	H + Al	Al	SB	CTC	V	m	Areia	Argila	Silte
CaCl ²	-----			mmolc dm ⁻³	-----			-----	% --	-----		
5.0	3.1	30	11	38	4	44.1	82.1	54	8	63%	31%	6%

Fonte: Laboratório de fertilidade do solo - Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2024.

As áreas experimentais encontram-se sob sistema de plantio direto, com a massa seca de palhada determinada mediante a coleta do material vegetal em uma área de 1 m², seguida de pesagem e posterior conversão dos dados, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados das avaliações de massa seca de palhada presente nas áreas cultivadas com cevada, durante as safras de 2024 e 2025.

QUADRA	2024		2025	
	----- g m ⁻² -----	----- kg ha ⁻¹ -----	----- g m ⁻² -----	----- kg ha ⁻¹ -----
D8	475	4.750	379	3.790
E9	510	5.100	364	3.640

Fonte: A autora.

Foram realizados dois experimentos em duas safras de inverno consecutivas, 2024 e 2025, um para controle de azevém na cevada (Quadra D8) e outro para seletividade de herbicidas na cevada (Quadra E9). Ambos os experimentos contaram com nove tratamentos e quatro repetições, o delineamento experimental foi de blocos casualizados. As unidades experimentais foram compostas por parcelas com 3,40 m de largura e 5,5 m de comprimento, perfazendo 18,7 m² por parcela.

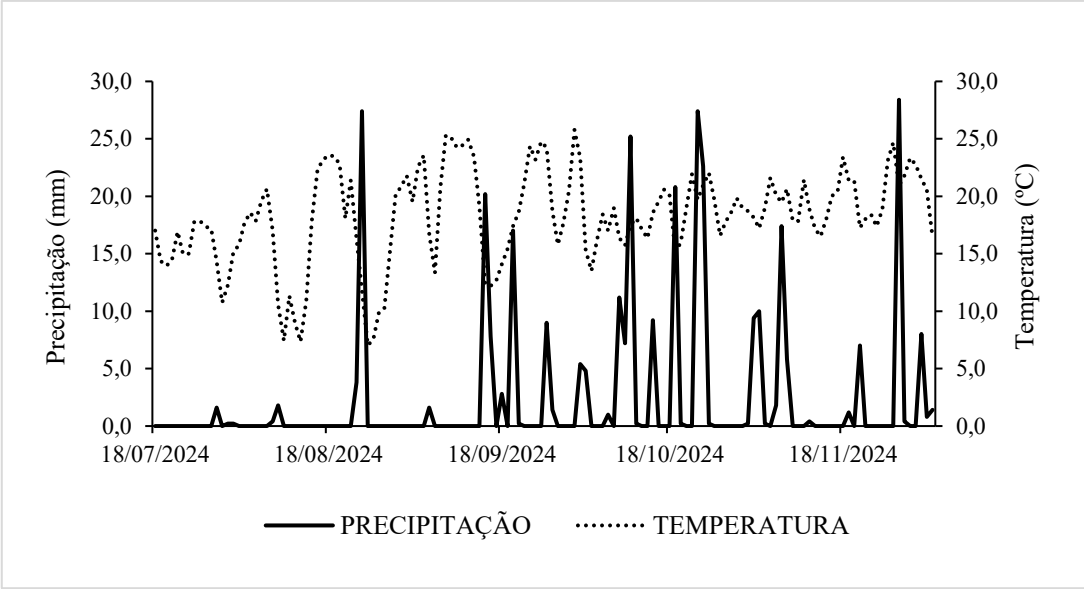
A cultivar de cevada adotada no experimento foi a Imperatriz, de aptidão cervejeira. Apresenta ciclo médio de aproximadamente 127 dias entre a emergência e a maturação dos grãos, estatura em torno de 73 cm e resistência moderada ao acamamento. Quanto ao comportamento fitossanitário, destaca-se pela maior resistência à ferrugem e ao oídio, embora seja mais suscetível à mancha marrom e à mancha em rede (Novatzki; Brito; Felisbino, 2025).

A semeadura da primeira safra de cevada foi realizada no dia 18 de julho de 2024 devido a atraso na obtenção de semente, e a semeadura da segunda safra foi no dia 11 de junho de 2025. A área para avaliação de seletividade continha infestação natural de plantas daninhas, já na área para avaliação de controle de azevém foram distribuídas as sementes de azevém (cultivar Barjumbo) por meio de um distribuidor espalhador de grânulos da marca Jacto.

A semeadura da cultura foi realizada mecanicamente, a uma profundidade de 3 cm, com espaçamento de 17 cm entre linhas e densidade de 45 sementes por metro, resultando em uma população final estimada de 2.353.530 plantas ha⁻¹ no primeiro ano avaliado e 2.437.411 plantas ha⁻¹ no segundo ano. A adubação de base consistiu em 220 kg ha⁻¹ de fertilizante NPK (10-20-20). O manejo fitossanitário, em relação às pragas e doenças, foi realizado de acordo com monitoramento e recomendações técnicas para o cultivo de cevada, e de forma igualitária para toda a área, de ambos os experimentos. As aplicações de manutenção em 2024 foram realizadas por um pulverizador de barras Jacto Condor 700 L, acoplado a um trator Ford, e em 2025 foram realizadas por um pulverizador costal motorizado da marca Husqvarna, seguindo as diretrizes de bula fornecidas pelo fabricante.

A aplicação dos tratamentos com herbicidas foi realizada em pré e pós semeadura da cevada. Na safra de 2024, a aplicação com os herbicidas pré-emergentes ocorreu no dia 19 de julho e a aplicação com os herbicidas pós-emergentes no dia 06 de agosto. Na Figura 5 são apresentados os dados meteorológicos registrados ao longo do ciclo da cultura, compreendendo o período entre a semeadura e a colheita da cevada em 2024.

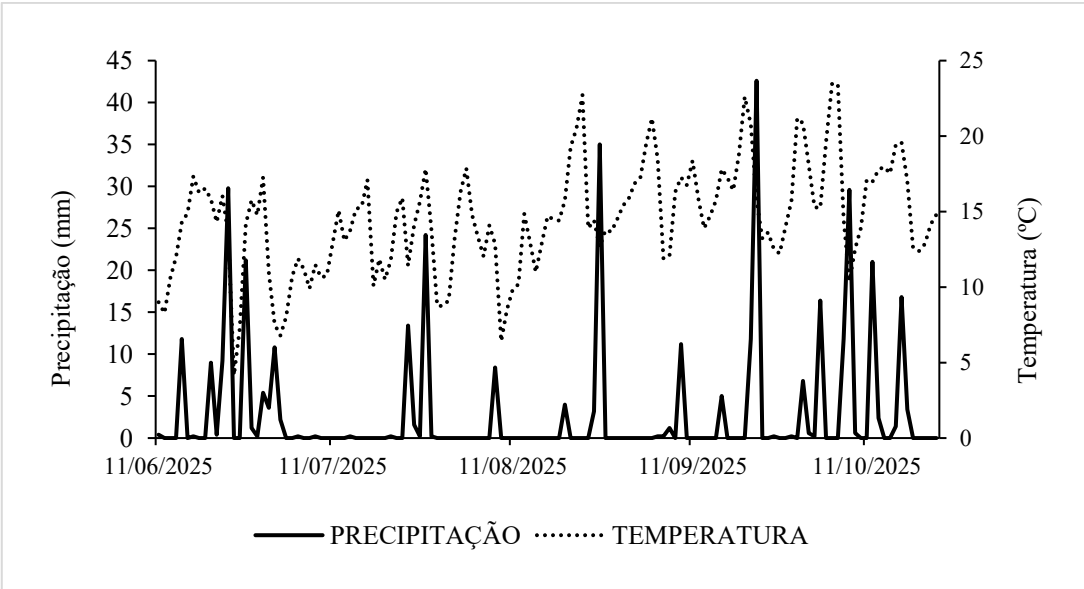
Figura 5 – Balanço hídrico e temperatura média mensal registrados ao longo do ciclo da cultura da cevada na safra de 2024.



Fonte: Estação meteorológica da BASF, Fazenda Escola Capão da Onça - PG, 2024.

Na safra de 2025, a aplicação com os herbicidas pré-emergentes ocorreu no dia 12 de junho e a aplicação com os pós-emergentes no dia 02 de julho. Houve atraso na aplicação dos pós-emergentes devido a altos volumes de precipitação na região, conforme demonstrado na Figura 6, a qual compreende as condições meteorológicas do período de semeadura à colheita da cevada em 2025.

Figura 6 – Balanço hídrico e temperatura média mensal registrados ao longo do ciclo da cultura da cevada na safra de 2025.



Fonte: Estação meteorológica da BASF, Fazenda Escola Capão da Onça - PG, 2025.

Para a aplicação dos tratamentos, utilizou-se um pulverizador costal pressurizado com CO₂, equipado com barra contendo seis bicos espaçados por 0,5 m entre si, com pontas tipo leque, marca TeeJet, modelo TJ11002 (cor amarela). O pulverizador foi regulado para pressão de 30 psi, com velocidade de deslocamento de 1 m s⁻¹, resultando em vazão constante de 150 L ha⁻¹. Nas parcelas com testemunha capinada, as plantas daninhas foram removidas manualmente, duas vezes por semana, a fim de evitar a interferência sobre o desenvolvimento e componentes de rendimento da cultura.

5.2 TRATAMENTOS APLICADOS

Para as duas áreas foram aplicados os mesmos nove tratamentos, que consistiram em diferentes herbicidas, aplicados isolados, associados e/ou em sequencial, com quatro blocos e uma repetição (parcela) por bloco, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Relação dos tratamentos aplicados, descrição dos herbicidas e doses utilizadas em pré e pós-emergência. Ponta Grossa, PR.

Tratamento	Pré	Dose (i.a. ha ⁻¹)	Pós	Dose (i.a. ha ⁻¹)
1	S – metolachlor	960 g	-	-
2	Pyroxasulfone	125 g	-	-
3	S – metolachlor	960 g	Pinoxaden	50 g
4	Pyroxasulfone	125 g	Pinoxaden	50 g
5	-	-	Pinoxaden	50 g
6	S – metolachlor	480 g	S – metolachlor + Pinoxaden	480 g + 50 g
7	Pyroxasulfone	62,5 g	Pyroxasulfone + Pinoxaden	62,5 g + 50 g
8	Testemunha infestada	-	-	-
9	Testemunha capinada	-	-	-

Nomes comerciais: S-metolachlor (Dual Gold®); Pyroxasulfone (Yamato®); Pinoxaden (Axial®).

Fonte: A autora.

5.3 CONTROLE DE AZEVÉM NA CULTURA DA CEVADA

As avaliações de controle de azevém consistiram em contagens das plantas emergidas aos 15, 30, 45 e 60 dias após a segunda aplicação dos tratamentos. Nessas datas, foram identificadas e contabilizadas as plantas de azevém dentro de uma área delimitada (50 x 50 cm), em quatro replicatas técnicas, totalizando 1 m² de área avaliada em cada parcela. Os dados de emergência de plantas de azevém foram convertidos em porcentagem de controle em relação ao tratamento testemunha infestada. Também foi realizada a contagem de espigas

de azevém dentro da área útil de cada parcela, para cada tratamento e suas respectivas repetições. Em cada parcela, foram retiradas as plantas de azevém presentes nas três entrelinhas centrais da cultura, as quais foram levadas ao laboratório para contagem do número de espigas e posteriormente debulhadas para pesagem dos grãos (Figura 7).

Figura 7 – Registro fotográfico do procedimento de avaliação do controle de azevém realizado na Quadra D8 da FESCON, ilustrando a metodologia adotada durante as avaliações em campo. a) Contagem de plantas emergidas; b) contagem de espigas; c) pesagem dos grãos.



Fonte: A autora.

5.4 SELETIVIDADE DE HERBICIDAS NA CULTURA DA CEVADA

Quanto à seletividade para a cultura, as avaliações ocorreram aos 45 dias após o tratamento (DAT) e consistiram na verificação da altura de dez plantas por parcela e na coleta de parte aérea das plantas de cevada em 0,25 m² por parcela, para determinação da massa seca também. As amostras foram depositadas em estufa (60°C) por 48 horas, seguidas de pesagem em balança de precisão (Figura 8).

Figura 8 - Registro fotográfico do procedimento de avaliação da seletividade de herbicidas na cultura da cevada, realizado na Quadra E9 da FESCON aos 45 DAT, ilustrando a metodologia adotada durante as avaliações em campo. a) Altura de plantas; b) coleta de parte aérea; c) secagem em estufa d) pesagem de massa seca.



Fonte: A autora.

Na safra de 2024 a colheita foi realizada no dia 04 de dezembro por meio da colhedora de parcela Wintersteiger modelo Classic, com uma barra de corte de 1,5 metros. Na safra de 2025 a colheita foi realizada em 23 de outubro com a mesma colhedora (Figura 9).

Figura 9 – Registro fotográfico do procedimento de colheita da cevada realizado nas quadras D8 e E9, utilizando a colhedora de parcelas Wintersteiger. a) Alinhamento da colhedora; b) colheita da parcela; c) coleta dos grãos de cevada; d) deposição dos grãos em pacotes.

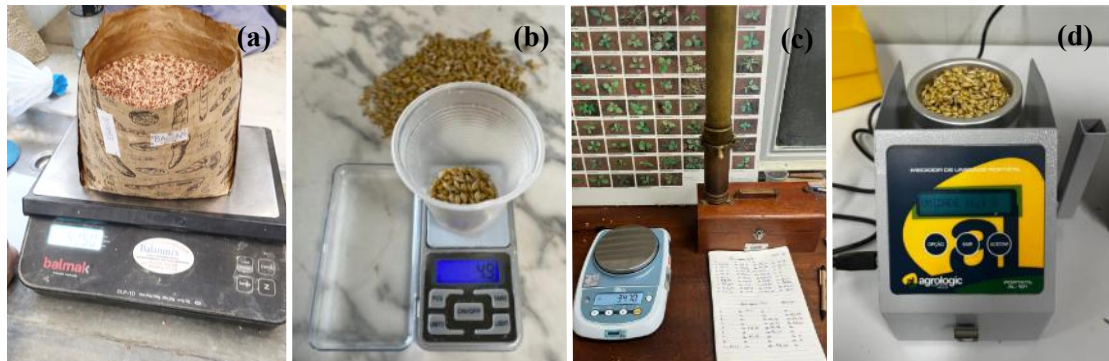


Fonte: A autora.

Após a colheita, para os dois experimentos, foi aferida a produtividade, a massa de mil grãos, o peso do hectolitro (PH) e a umidade de todas as amostras (Figura 10). Para aferição da produtividade utilizou-se uma balança de precisão da marca Balmak® com capacidade para 10 kg, para o peso de mil grãos (PMG) utilizou-se balança de precisão S 0,01g com precisão de 0,01 g, marca Bel®, o PH foi obtido pela relação massa/volume dos grãos de cevada em uma proveta graduada de 1,0 L da marca Dallemolle® e para a umidade foi utilizado o medidor de umidade portátil Agrologic modelo AL -101. A massa das amostras foi ajustada para umidade padrão de 13%, por meio da equação:

$$\text{Massa corrigida} = \left(\frac{100 - \text{Umidade da amostra}}{100 - \text{Umidade padrão}} \right) \times \text{Massa total da amostra}$$

Figura 10- Registro fotográfico das avaliações de pós-colheita da cevada realizadas para as quadras D8 e E9 da FESCON. a) Aferição da massa total de cevada; b) aferição da massa de mil grãos; c) verificação do PH; d) umidade das amostras.



Fonte: A autora.

Os registros fotográficos apresentadas nas Figuras 11 e 12 abrangem todo o decorrer dos experimentos, contemplando registros da semeadura, do desenvolvimento da cultura no campo, e do procedimento de colheita da cevada.

Figura 11 - Registros fotográficos da primeira safra da cultivar de cevada Imperatriz, conduzida na FESCON em 2024, abrangendo diferentes momentos do ciclo da cultura, desde a semeadura até a colheita. a) Semeadura da cevada; b) embandeiramento da área; c) cevada aos 60 DAT; d) manejo de plantas infestantes; e) cevada aos 115 DAT; f) colheita da área.



Fonte: A autora.

Figura 12 - Registros fotográficos da segunda safra da cultivar de cevada Imperatriz, conduzida na FESCON em 2025, abrangendo diferentes momentos do ciclo da cultura, desde a semeadura até a colheita. a) Semeadura da cevada; b) embandeiramento da área; c) cevada aos 20 DAT; d) cevada aos 70 DAT; e) cevada aos 120 DAT; f) colheita da área.



Fonte: A autora.

5.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os valores registrados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), aos testes de Bartlett, para verificação da homocedasticidade, e Shapiro-Wilk, para examinar a normalidade dos dados. Quando apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$), as médias foram comparadas através do teste SNK (Student-Newman-Keuls) e Dunnett a 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas por meio do software RStudio.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a obtenção dos dados, constatou-se que a diferença na quantidade de efeitos aleatórios entre as duas safras foi suficientemente expressiva a ponto de inviabilizar a realização de uma análise conjunta, tornando necessário tratá-las como experimentos independentes. Ademais, observou-se forte dependência dos tratamentos em relação às condições ambientais, justificando a condução de análises separadas para cada safra.

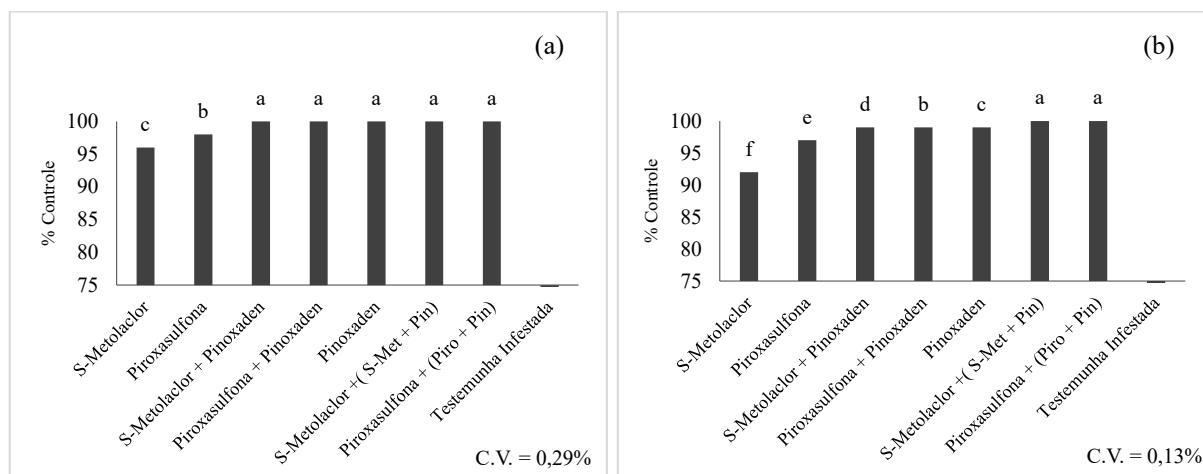
6.1 PRIMEIRA SAFRA DE CEVADA (2024)

Na safra de 2024, o controle de azevém aos 15 e 30 dias após o tratamento (DAT) não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos herbicidas. Aos 15 DAT, os tratamentos apresentaram médias de controle próximas, variando entre 87% e 91%, com desvios-padrão entre 0,31 e 0,74 kg hL⁻¹ e coeficientes de variação (C.V.) inferiores a 9%. De forma semelhante, aos 30 DAT, as médias de controle oscilaram entre 94% e 97%, com desvios-padrão de 0,14 a 0,87 kg hL⁻¹ e coeficientes de variação inferiores a 10%. Todavia, a média geral de controle dos tratamentos herbicidas foi superior à da Testemunha Infestada, evidenciando a eficiência do controle químico em relação à ausência de manejo.

Aos 45 DAT, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 13a), destacando-se a aplicação de Pinoxaden em pós-emergência, que apresentou maior eficiência de controle quando comparado aos tratamentos isolados de pré-emergentes. Esse resultado indica que o uso de herbicidas pós-emergentes pode contribuir para o manejo das plantas daninhas que escapam do controle inicial. De acordo com Shashidhar *et al.* (2020), enquanto os herbicidas pré-emergentes atuam reduzindo a emergência inicial das plantas daninhas, os pós-emergentes possibilitam o controle dos fluxos tardios de infestação. Quanto à aplicação parcelada dos herbicidas pré-emergentes, não foram constatadas diferenças entre os tratamentos, indicando que o fracionamento da dose não promoveu vantagens imediatas.

Aos 60 DAT, também foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 13b), com destaque para os tratamentos T6 (S-metolachlor + (S-metolachlor + Pinoxaden)) e T7 (Pyroxasulfone + (Pyroxasulfone + Pinoxaden)), que mantiveram maiores níveis de controle ao longo do tempo. Esses resultados demonstram que a aplicação parcelada foi mais eficiente na extensão do efeito residual dos herbicidas, corroborando a estratégia de manejo que associa aplicações em momentos distintos para prolongar o controle das plantas daninhas, conforme discutido por Hartzler e Anderson (2019).

Figura 13 – Porcentagem de controle do azevém avaliada aos 45 (a) e 60 (b) dias após o tratamento (DAT), na safra de 2024, na Quadra D8. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.

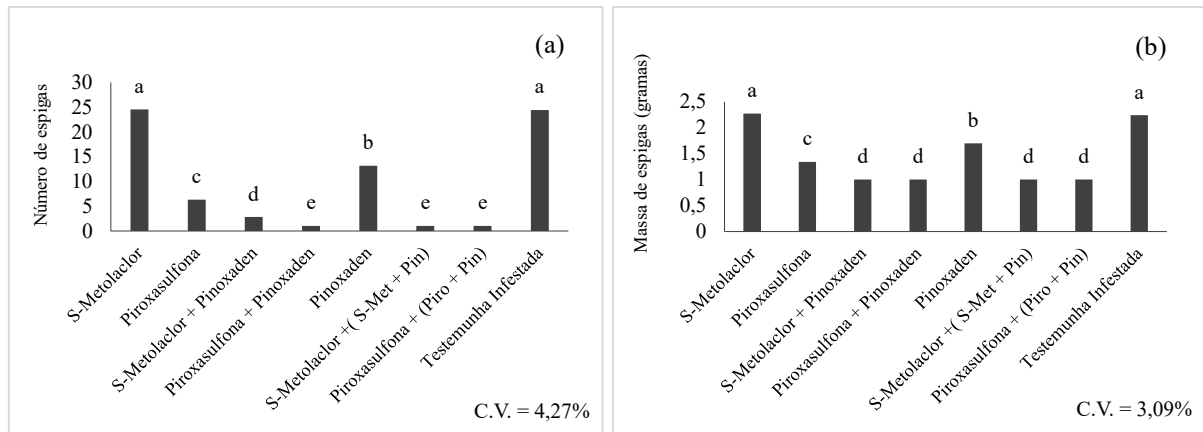


Fonte: A autora.

No que se refere ao número e à massa das espigas de azevém quantificadas na área experimental, observaram-se diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos avaliados. O tratamento T1 (S-metolachlor) não diferiu estatisticamente da Testemunha Infestada (T8), enquanto o tratamento T5 (Pinoxaden) apresentou o segundo menor desempenho em termos de controle. Esses resultados indicam que a aplicação isolada de herbicidas é insuficiente para assegurar efeito residual frente aos sucessivos fluxos de emergência do azevém ao longo do ciclo da cultura. Evidências semelhantes foram relatadas por Akhter *et al.* (2021), que observaram decréscimo significativo na eficácia dos herbicidas à medida que as plantas daninhas avançavam em seus estádios de desenvolvimento, ressaltando a necessidade de estratégias adicionais de manejo.

Nesse contexto, a persistência residual dos herbicidas assume papel determinante na eficiência do controle. Conforme ilustrado nas Figuras 14a e 14b, a aplicação isolada de Pyroxasulfone apresentou maior persistência residual em comparação ao S-metolachlor. Resultados semelhantes foram reportados por Yamaji *et al.* (2016), os quais verificaram maior persistência de Pyroxasulfone em relação ao S-metolachlor, mesmo quando aplicada em doses reduzidas. Tal comportamento reforça a maior estabilidade desse ingrediente ativo no solo e, conseqüentemente, sua superioridade na manutenção prolongada do controle das plantas infestantes.

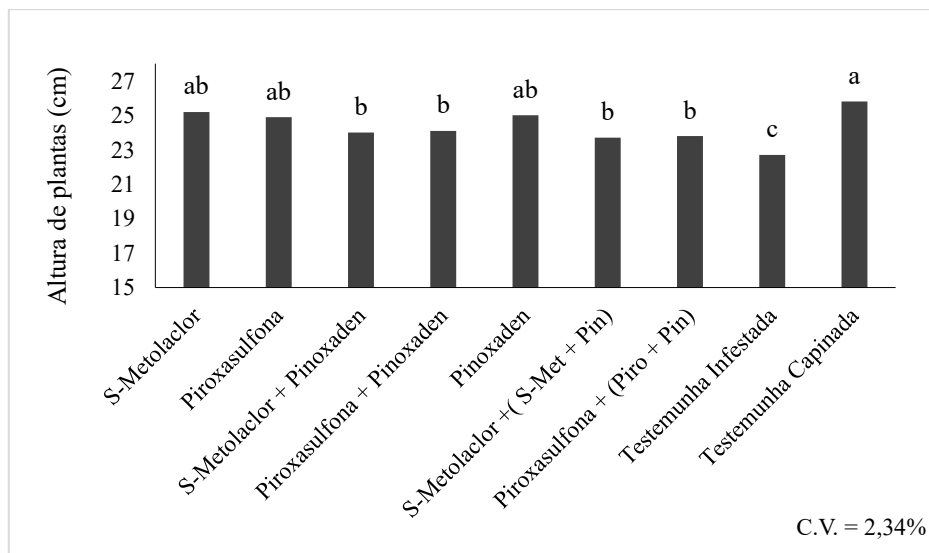
Figura 14 – Número de espigas de azevém (a) e massa de espigas (b), avaliados na Quadra D8, no ano de 2024. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.



Fonte: A autora.

Quanto à seletividade dos tratamentos, foram observadas diferenças significativas na altura das plantas, com a Testemunha Capinada (T9) apresentando a maior média (Figura 15). Entre os tratamentos herbicidas, os maiores valores de altura foram registrados nos tratamentos T1 (S-metolachlor), T2 (Pyroxasulfona) e T5 (Pinoxaden), indicando maior seletividade quando os herbicidas foram aplicados de forma isolada. Resultados semelhantes foram relatados por Gruss *et al.* (2025), que observaram maior fitotoxicidade em misturas de herbicidas quando comparadas às aplicações individuais. Zanatta *et al.* (2007) também destacam que interações entre herbicidas podem reduzir a margem de segurança dos tratamentos, ocasionando efeitos deletérios à cultura.

Figura 15 – Altura de plantas avaliada na Quadra E9 aos 45 DAT, no ano de 2024. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.

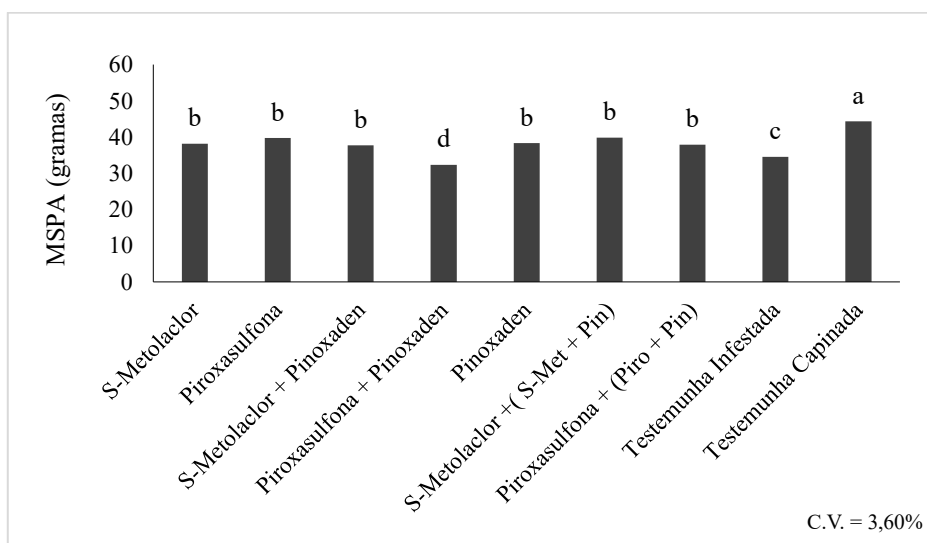


Fonte: A autora.

A massa seca da parte aérea da cevada apresentou diferenças significativas entre os tratamentos avaliados, sendo a maior média registrada na Testemunha Capinada (T9). Conforme apresentado na Figura 16, o tratamento T4 (Pyroxasulfone + Pinoxaden) apresentou a menor média, indicando a ocorrência de possíveis efeitos negativos associados à interação entre os herbicidas aplicados. Tal comportamento pode estar relacionado à elevada sensibilidade da cultura da cevada a interações químicas, especialmente em função do efeito residual mais prolongado do Pyroxasulfone no solo quando comparado ao S-metolachlor (Shaner, 2014). Nesse contexto, Galon *et al.* (2014) destacam que a cevada apresenta alta sensibilidade à aplicação de herbicidas utilizados no manejo de plantas daninhas, reforçando a necessidade de cautela na seleção das moléculas e das estratégias de manejo.

Embora registrado como seletivo à cultura, o Pyroxasulfone pode interferir no desenvolvimento inicial das plantas ao atuar sobre tecidos meristemáticos, particularmente o sistema radicular, o que pode comprometer a absorção de água e nutrientes (Rizzardi, 2019). O Pinoxaden, por sua vez, apresenta seletividade para a cevada e rápida degradação no solo, com meia-vida variando entre 1 e 7 dias (Leon, 2019), conferindo maior segurança ambiental. Contudo, a aplicação sequencial de Pinoxaden pode ter potencializado os efeitos dos compostos sobre as plantas, resultando em respostas adversas ao desenvolvimento da cultura.

Figura 16 – Massa seca da parte aérea (MSPA) avaliada na Quadra E9 aos 45 DAT, no ano de 2024. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.



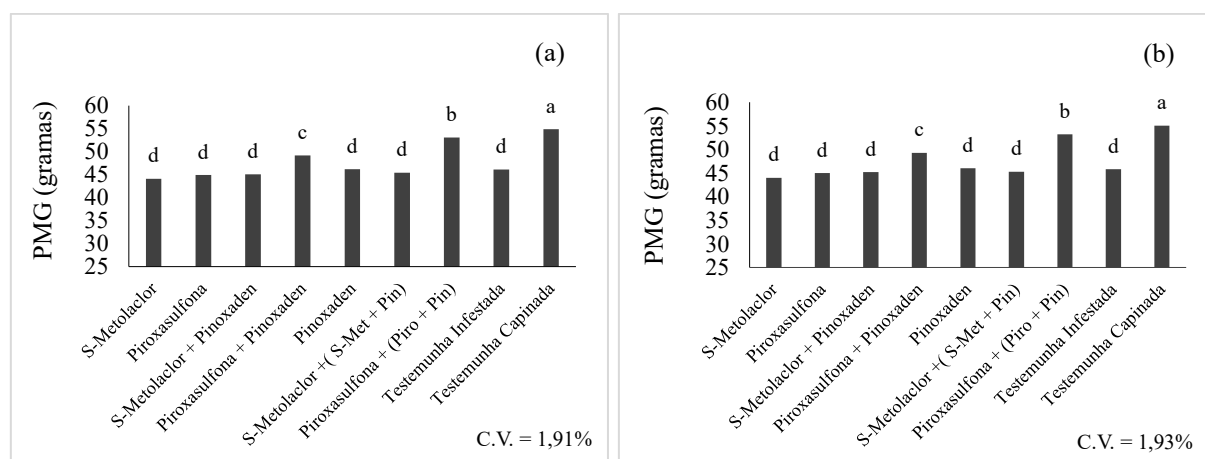
Fonte: A autora.

Na Quadra D8, os tratamentos apresentaram médias de peso do hectolitro (PH) muito próximas (58,39 a 61,37 kg hL⁻¹), com desvios-padrão entre 0,46 e 2,15 kg hL⁻¹ e coeficientes

de variação inferiores a 4%, indicando boa uniformidade dos dados. A análise estatística não apontou diferenças significativas entre os tratamentos, mostrando que o controle de azevém não interferiu no PH, mantendo a qualidade física dos grãos de cevada. O mesmo acontece na Quadra E9, a qual também não apontou diferenças significativas entre os tratamentos, onde as médias variaram de 59,94 a 61,51 kg hL⁻¹, com desvios-padrão entre 0,57 e 3,96 kg hL⁻¹ e coeficientes de variação inferiores a 5%.

Nas quadras D8 e E9, o peso de mil grãos (PMG) apresentou diferenças significativas entre os tratamentos avaliados, sendo a maior média registrada no tratamento T9 (Testemunha Capinada). Os tratamentos T4 (Pyroxasulfone + Pinoxaden) e T7 (Pyroxasulfone + (Pyroxasulfone + Pinoxaden)) destacaram-se entre os manejos herbicidas, apresentando as maiores médias de PMG (Figura 17). Resultados semelhantes foram observados por Santi *et al.* (2022) na cultura do trigo, nos quais a aplicação de Pyroxasulfone em pré e pós-emergência proporcionou aumento no tamanho das espigas, refletindo em ganhos de produtividade.

Figura 17 – Peso de mil grãos (PMG) avaliado nas Quadras D8 (a) e E9 (b), no ano de 2024. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.

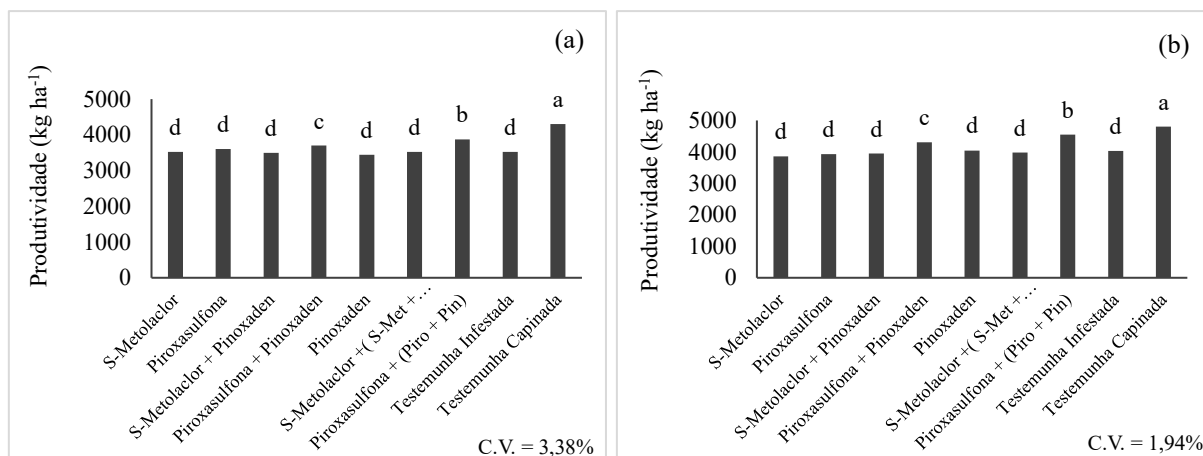


Fonte: A autora.

De maneira análoga ao comportamento verificado para o peso de mil grãos (PMG), os tratamentos T4 (Pyroxasulfone + Pinoxaden) e T7 (Pyroxasulfone + (Pyroxasulfone + Pinoxaden)) apresentaram desempenho superior em produtividade, conforme ilustrado na Figura 18. Achados semelhantes foram reportados por Chhokar e Sharma (2023), que demonstraram que a aplicação de Pyroxasulfone nas doses de 100 a 127,5 g ha⁻¹ resultou em aumentos expressivos de produtividade, variando de 119,6% a 125,4%. Ademais, o uso de Pinoxaden em sequência pode ter influenciado no aumento da produtividade desses tratamentos. Michelin *et al.* (2021) verificaram que o uso de Pinoxaden aumentou o rendimento

de grãos em trigo, resultado confirmado por Patel *et al.* (2023), que registraram maiores valores de crescimento e produtividade em trigo com a aplicação do herbicida na dose de 45 g i.a. ha⁻¹.

Figura 18 – Produtividade (kg ha⁻¹) avaliada nas Quadras D8 (a) e E9 (b), no ano de 2024. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.



Fonte: A autora.

6.2 SEGUNDA SAFRA DE CEVADA (2025)

Na safra de 2025, todas as épocas de avaliação evidenciaram efeito significativo dos tratamentos herbicidas. Aos 15 (DAT), os manejos químicos apresentaram níveis de controle superiores à Testemunha Infestada, conforme ilustrado na Figura 19a. Entretanto, o tratamento T5, correspondente ao Pinoxaden isolado, registrou a menor porcentagem de controle entre os tratamentos analisados. Esse comportamento pode ser atribuído ao maior período requerido para que o ingrediente ativo seja translocado e exerça sua ação na planta infestante. De acordo com Carvalho (2013a), os sintomas decorrentes da aplicação de herbicidas inibidores da ACCase tendem a manifestar-se de forma tardia, em razão de sua baixa mobilidade no interior da planta e do fato de seu sítio de ação localizar-se nos meristemas, regiões caracterizadas por intensa síntese de lipídios destinados à formação de membranas celulares.

O desempenho inferior observado no tratamento T6 (S-metolachlor + (S-metolachlor + Pinoxaden)) sugere que a redução da dose de S-metolachlor aplicada em pré-emergência pode ter sido parcialmente influenciada por processos de lixiviação, tornando-se insuficiente para assegurar o controle inicial das plantas daninhas. Embora o S-metolachlor apresente elevada eficiência no controle de gramíneas, sua maior mobilidade em solos de textura leve e com baixos teores de matéria orgânica pode comprometer sua persistência e eficácia no ambiente

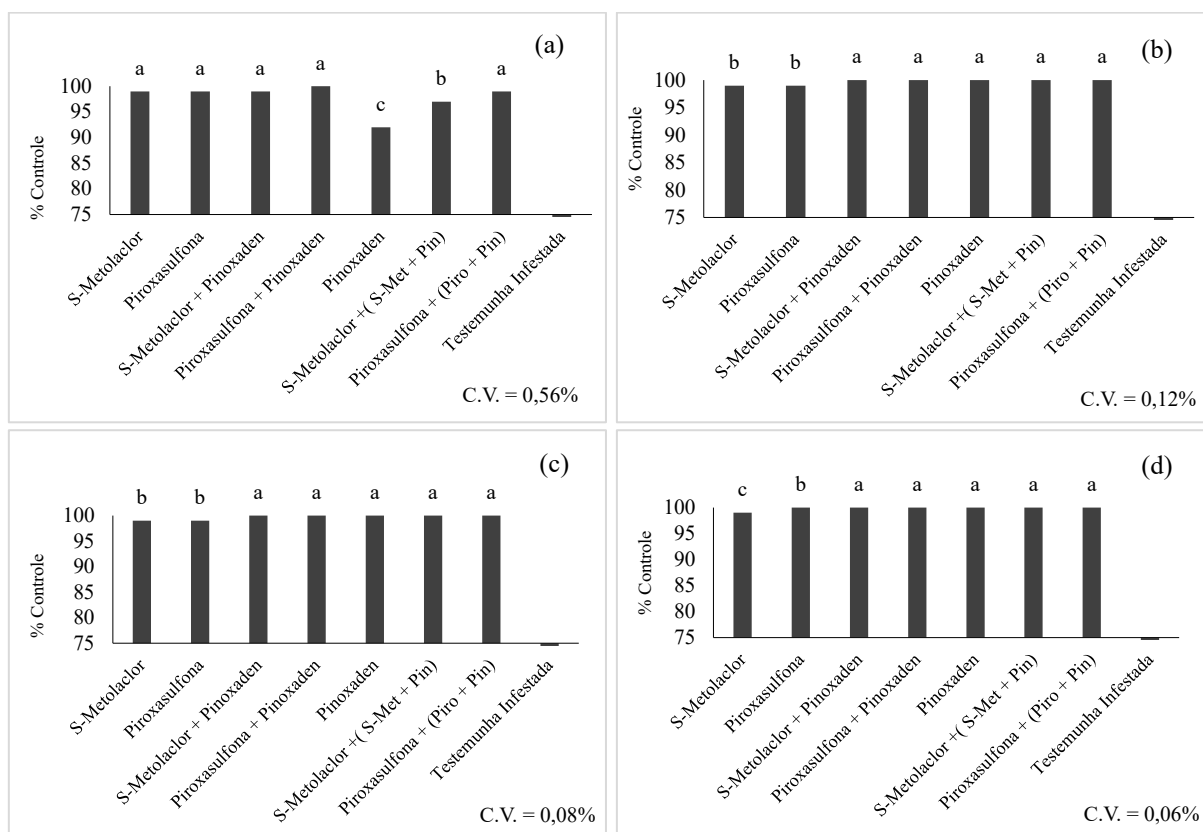
(Oliveira Jr. *et al.*, 2011; Rizzardi *et al.*, 2020; Zemolin *et al.*, 2014). Adicionalmente, a reduzida quantidade de palhada observada na área experimental durante a safra de 2025 (Tabela 2) pode ter contribuído para a diminuição da eficiência residual do herbicida, uma vez que a cobertura vegetal desempenha papel fundamental na proteção contra a degradação química e na manutenção do efeito residual ao longo do tempo (Roncatto *et al.*, 2023).

Aos 30 DAT (Figura 19b), destacaram-se os manejos que envolveram aplicações sequenciais ou associações de herbicidas, os quais apresentaram maiores porcentagens de controle. Esse comportamento manteve-se aos 45 DAT (Figura 19c), evidenciando a relevância do manejo integrado, com a combinação de herbicidas em pré e pós-emergência, para o controle eficaz do azevém. Tal constatação sugere que estratégias isoladas tendem a ser menos robustas frente às variações edafoclimáticas, enquanto combinações proporcionam maior estabilidade de resultados. Como observado por Ma *et al.* (2023), que constataram maior meia-vida de herbicidas aplicados em mistura em relação àqueles utilizados de forma isolada.

Aos 60 DAT (Figura 19d), os tratamentos com herbicidas aplicados isoladamente em pré-emergência apresentaram os menores níveis de controle ao longo do tempo. Dentre esses, o tratamento T1 (S-metolachlor) apresentou desempenho inferior ao tratamento T2 (Pyroxasulfone), sugerindo diferenças quanto à persistência residual e à mobilidade dos compostos no solo. Resultados semelhantes foram reportados por Scheer *et al.* (2025), que observaram menor eficiência do S-metolachlor no controle do azevém quando comparado à Trifluralina e ao Pyroxasulfone. Corroborando esses achados, Matte *et al.* (2023) verificaram que a aplicação de 100 g ha⁻¹ de Pyroxasulfone proporcionou níveis de controle equivalentes ou superiores àqueles obtidos com doses mais elevadas de S-metolachlor.

Não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos que incluíram o Pinoxaden. Infere-se que as condições edafoclimáticas exerceram papel determinante na dinâmica dos herbicidas, favorecendo processos de lixiviação dos pré-emergentes no perfil do solo. Nesse contexto, o maior efeito residual observado pode ser atribuído, predominantemente, à atuação do Pinoxaden, cuja aplicação em pós-emergência possibilitou maior interação direta com os sucessivos fluxos de emergência do azevém. Balem *et al.* (2021), constataram que o Pinoxaden foi o herbicida mais eficiente no controle de azevém em trigo entre os inibidores de ALS e ACCase.

Figura 19 – Porcentagem de controle do azevém avaliada aos 15 (a), 30 (b), 45 (c) e 60 (d) dias após o tratamento (DAT), na safra de 2025, na Quadra D8. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.



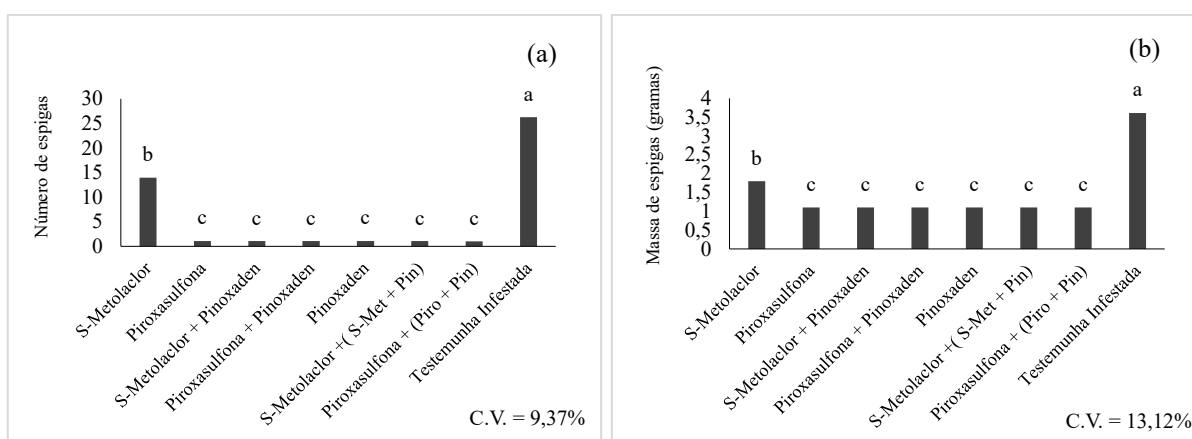
Fonte: A autora.

Foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos quanto ao número e à massa das espigas de azevém (Figuras 20a e 20b). O tratamento T1 (S-metolachlor) apresentou a maior média de espigas dentre os manejos com herbicidas, com valores semelhantes aos registrados na Testemunha Infestada (T8). Esses resultados evidenciam que a aplicação isolada de S-metolachlor não foi suficiente para assegurar o controle dos sucessivos fluxos de emergência do azevém. Esse comportamento pode estar associado à persistência do herbicida no ambiente, bem como às condições edafoclimáticas da safra avaliada.

O tempo de meia-vida (DT_{50}) do S-metolachlor apresenta ampla variação em função das condições ambientais, podendo oscilar entre 15 e 100 dias (Wolejko *et al.*, 2017). Zemolin *et al.* (2014) relataram menor persistência do herbicida em solos submetidos à saturação hídrica. Ademais, a lixiviação do S-metolachlor é fortemente influenciada pela textura do solo e pela precipitação acumulada, alcançando maiores profundidades em solos de textura arenosa sob condições de elevada pluviosidade (Silva Jr. *et al.*, 2015). Em ambientes com maior disponibilidade hídrica, reduções no efeito residual desse herbicida têm sido amplamente descritas na literatura (Rizzard *et al.*, 2020; Fontes *et al.*, 2025).

O tratamento (T5) com Pinoxaden isolado destacou-se entre os mais eficientes no controle do azevém ao longo do período avaliado. Esse resultado reforça a hipótese de que as elevadas precipitações tenham intensificado a lixiviação dos herbicidas pré-emergentes, atribuindo o controle do azevém ao Pinoxaden. Rosa *et al.*, (2016) avaliando o controle de herbicidas em cereais de inverno, concluíram que o Pinoxaden tem grande eficiência no controle do azevém quando comparado a outros pós-emergentes.

Figura 20 – Número de espigas de azevém (a) e massa de espigas (b), avaliados na Quadra D8, no ano de 2025. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.

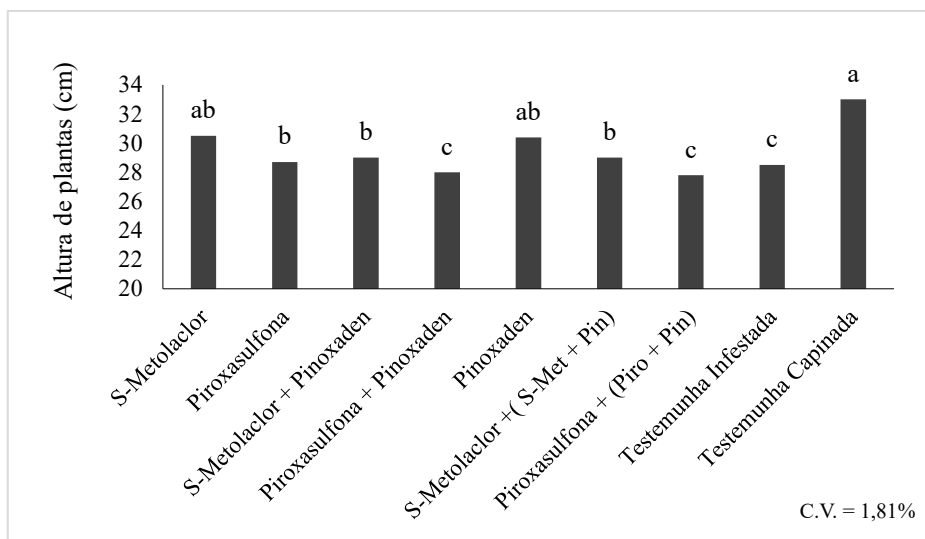


Fonte: A autora.

A análise da seletividade dos tratamentos indicou diferença significativa na altura das plantas, onde T9 (Testemunha Capinada) apresentou os maiores valores. Entre os tratamentos com herbicidas, os maiores valores de altura foram observados nos tratamentos T1 (S-metolachlor) e T5 (Pinoxaden) (Figura 21). Bagnara *et al.* (2024), ao avaliar a eficácia e seletividade de herbicidas em trigo, verificaram que o S-metolachlor, aplicado isoladamente ou em associação, apresenta menor fitotoxicidade em comparação a outros herbicidas. O Pinoxaden, por sua vez, é amplamente reconhecido como seletivo para a cevada (AGROFIT, 2024).

Os tratamentos com Pyroxasulfone apresentaram as menores médias de altura, fato que pode estar associado à possível persistência do herbicida no solo. De acordo com Shaner (2014), o Pyroxasulfone apresenta solubilidade moderada em água, característica que lhe confere elevada estabilidade no solo. Em condições adversas de precipitação, essa estabilidade pode resultar em maior disponibilidade do herbicida na solução do solo, aumentando a exposição das plantas cultivadas ao herbicida, o que pode refletir diretamente em alterações no crescimento vegetativo, especialmente na altura das plantas.

Figura 21 – Altura de plantas avaliada na Quadra E9 aos 45 DAT, no ano de 2025. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.



Fonte: A autora.

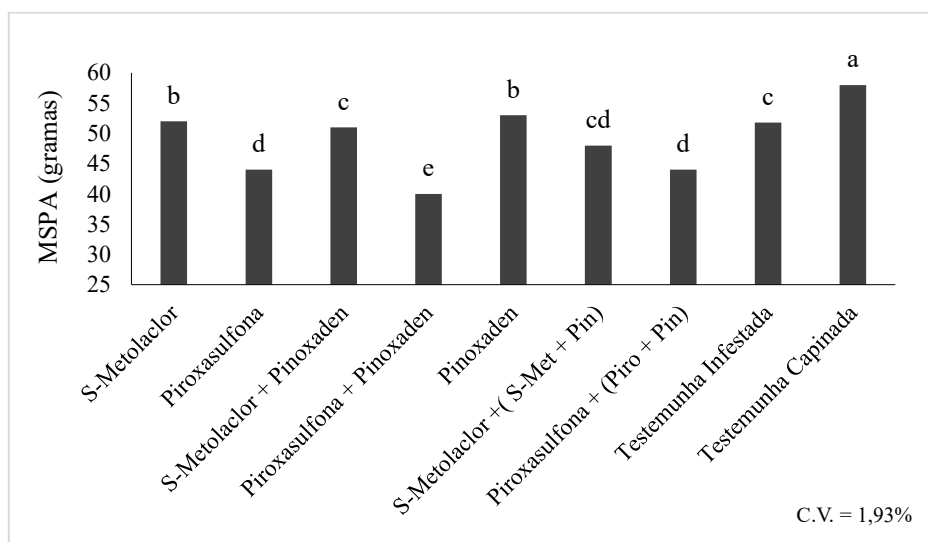
Foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos quanto à massa seca da parte aérea da cevada. Todos os tratamentos herbicidas diferiram da Testemunha Capinada (T9); contudo, os tratamentos T1 (S-metolachlor) e T5 (Pinoxaden) apresentaram as maiores médias entre os herbicidas, corroborando com os resultados da avaliação de altura de plantas, indicando maior seletividade à cultura (Figura 22).

Os tratamentos que apresentaram as menores médias de massa seca foram aqueles que incluíram o Pyroxasulfone em sua composição, com destaque para o T4 (Pyroxasulfone + Pinoxaden), quando comparado aos tratamentos T2 (Pyroxasulfone) e T7 (Pyroxasulfone + (Pyroxasulfone + Pinoxaden)). Esse resultado pode estar relacionado ao fato de que a ausência de complementação ou a utilização de doses reduzidas do herbicida não impactam de forma tão expressiva o desenvolvimento das plantas.

Westra *et al.* (2014) relatam que o Pyroxasulfone apresenta maior persistência sob distintas condições edafoclimáticas quando comparada a outros herbicidas aplicados em pré-emergência, o que pode ampliar sua exposição às plantas cultivadas em situações desfavoráveis. Esse fator, associado à reduzida quantidade de palhada presente na área (Tabela 2), pode ter acelerado sua liberação no solo (Tanetani *et al.*, 2013). A palhada disposta na superfície do solo atua como uma barreira física capaz de interceptar parte significativa da calda aplicada, sobretudo em sistemas de plantio direto, nos quais grande fração do produto permanece retida na superfície (Aslam *et al.*, 2014; Khalil *et al.*, 2018). Adicionalmente, a aplicação de Pinoxaden

em pós-emergência pode ter contribuído para a intensificação ou maior expressão dos sintomas de fitotoxicidade, sobretudo quando associada a condições de estresse da cultura.

Figura 22 – Massa seca da parte aérea (MSPA) avaliada na Quadra E9 aos 45 DAT, no ano de 2025. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.

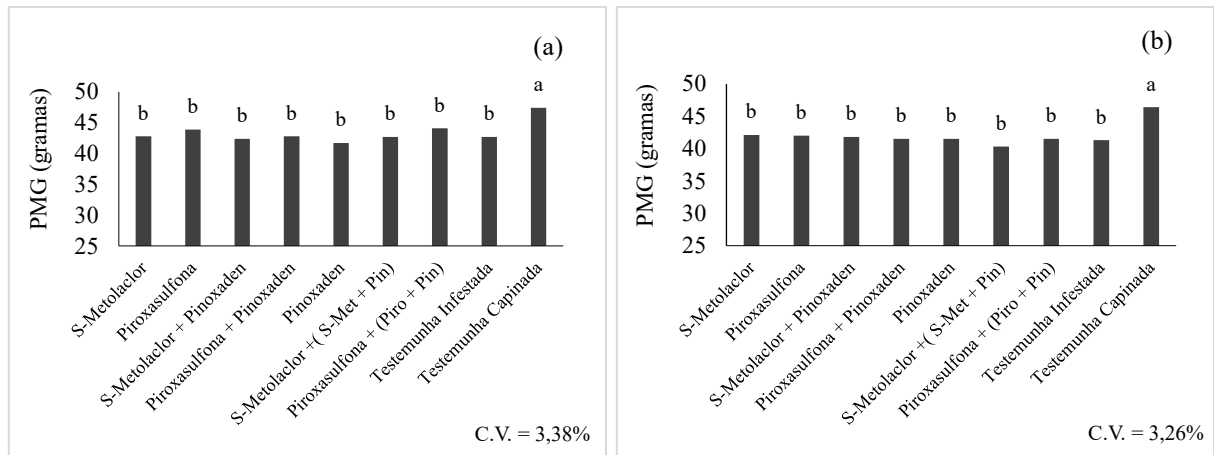


Fonte: A autora.

Na Quadra D8, as médias de peso do hectolitro (PH) variaram de 63,05 a 66,65 kg hL⁻¹, com desvios-padrão entre 1,22 e 2,93 kg hL⁻¹ e coeficientes de variação inferiores a 5%. A análise estatística não indicou diferenças significativas, demonstrando que os tratamentos herbicidas não influenciaram o PH da cevada. O mesmo ocorre na Quadra E9, onde as médias de PH estiveram entre 64,67 e 66,80 kg hL⁻¹, com desvios-padrão de 1,02 a 3,03 kg hL⁻¹ e coeficientes de variação inferiores a 5%.

Conforme apresentado na Figura 23, nas quadras D8 e E9, o peso de mil grãos (PMG) diferiu estatisticamente apenas em relação à Testemunha Capinada (T9), não havendo diferenças significativas entre os tratamentos com herbicidas. Os resultados obtidos indicam que o manejo químico promoveu respostas semelhantes entre os herbicidas avaliados, não ocasionando variações no peso de mil grãos (PMG), variável diretamente relacionada à qualidade física dos grãos e ao rendimento da cultura da cevada. Em contrapartida, Shehzad *et al.* (2012), ao avaliarem o Pyroxasulfone na cultura do trigo, observaram diferenças nos valores de PMG entre os tratamentos, assim como Bagnara *et al.* (2024), que constatarem variações no PMG com a utilização de S-metolachlor.

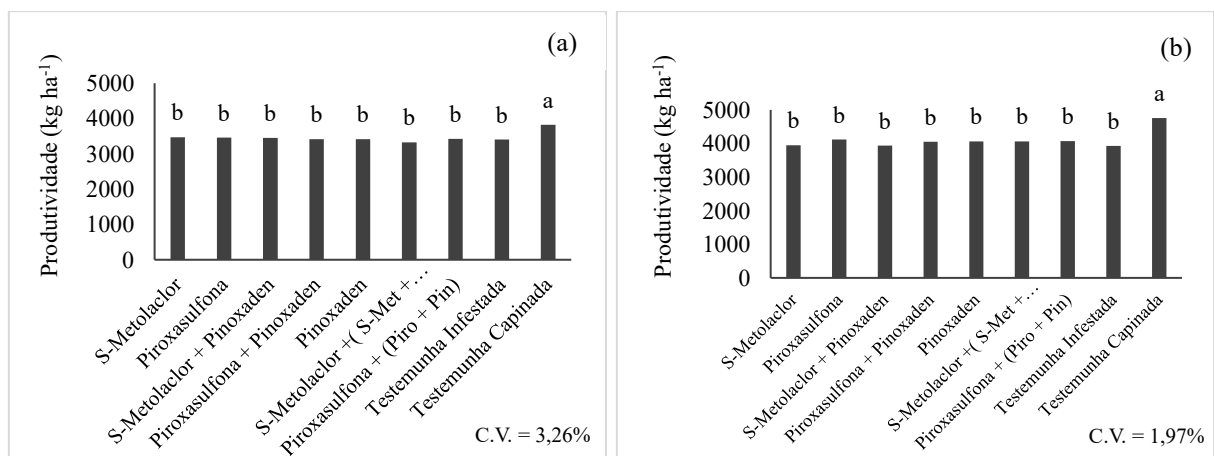
Figura 23 – Peso de mil grãos (PMG) avaliado nas Quadras D8 (a) e E9 (b), no ano de 2025. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.



Fonte: A autora.

Ademais, embora a associação entre Pyroxasulfone e Pinoxaden tenha promovido redução na massa seca da parte aérea da cultura, a cevada demonstrou capacidade de recuperação ao longo do ciclo de desenvolvimento, não resultando em prejuízos ao rendimento final. Conforme apresentado na Figura 24, não foram observadas diferenças significativas entre os manejos herbicidas quanto à produtividade, sendo a testemunha capinada (T9) o único tratamento a diferir estatisticamente com maior produtividade observada. Resultados contraditórios foram apresentados por Soltani, Shropshire e Sikkema (2012), que ao avaliarem a resposta de cereais de inverno à aplicação de Pyroxasulfone, verificaram que a dose de 125 g i.a. ha⁻¹ ocasionou reduções expressivas na produtividade de cevada, aveia e trigo, indicando que a utilização de doses inferiores se mostrou mais adequada.

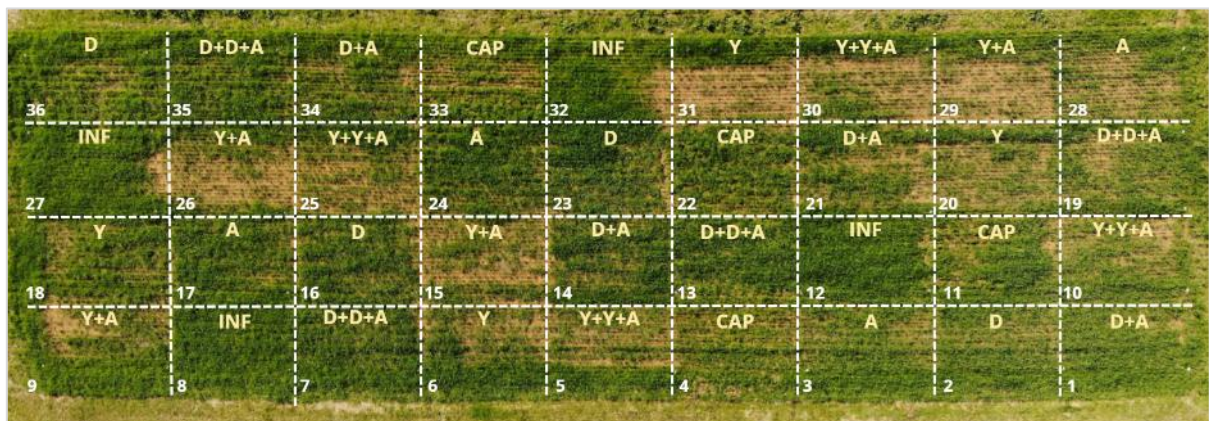
Figura 24 – Produtividade (kg ha⁻¹) avaliada nas Quadras D8 (a) e E9 (b), no ano de 2025. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Student–Newman–Keuls (SNK), a 5% de significância.



Fonte: A autora.

Durante a safra de 2025 observaram-se sintomas de fitotoxicidade na cevada (Figura 25), especialmente nos tratamentos que continham Pyroxasulfone. Esse comportamento pode estar associado a maior persistência residual da molécula no solo, favorecida pelas condições edafoclimáticas. Souza *et al.* (2023), identificaram o Pyroxasulfone como um dos herbicidas com maior potencial de causar fitotoxicidade em cereais de inverno.

Figura 25 – Imagem aérea da Quadra D8, obtida por veículo aéreo não tripulado (VANT), aos 40 dias após o tratamento (DAT), no ano de 2025, apresentando o croqui do experimento e evidenciando sintomas de fitotoxicidade na cultura da cevada, possivelmente relacionados às condições edafoclimáticas predominantes na safra, que favoreceram a expressão dos efeitos do Pyroxasulfone.



D (Dual Gold®); Y (Yamato®); A (Axial®), INF (Infestada) e CAP (Capinada).

Fonte: A autora.

Por fim, conforme ilustrado na Figura 26 e corroborado pelos resultados de PH, PMG e produtividade, observa-se que os sintomas de fitotoxicidade foram transitórios e não se refletiram em perdas de produtividade. Robinson *et al.* (2015) destacam que danos iniciais causados por herbicidas tendem a ser temporários, uma vez que as plantas apresentam capacidade de recuperação ao longo do ciclo. Clay, Thill e Cochran (1988), verificaram que as injúrias ocasionadas por herbicidas no início do ciclo da cevada não resultaram em redução da produtividade de grãos na colheita, e constataram que a ocorrência de perdas produtivas depende do tratamento herbicida adotado e da cultivar utilizada.

Figura 26 – Imagem aérea da Quadra D8, obtida por veículo aéreo não tripulado (VANT), aos 80 dias após o tratamento (DAT), no ano de 2025, apresentando o croqui do experimento e evidenciando a recuperação da cultura da cevada em relação aos sintomas de fitotoxicidade previamente observados.



D (Dual Gold®); Y (Yamato®); A (Axial®), INF (Infestada) e CAP (Capinada).

Fonte: A autora.

Da Silva *et al.* (2022) estabelecem que moléculas consolidadas, como S-metolachlor seguem altamente eficientes nos fluxos iniciais de emergência, enquanto ativos mais recentes como o Pyroxasulfone, ampliam o espectro de controle e aumentam a previsibilidade agrônômica em diferentes condições de solo e clima. Contudo, eficiência e seletividade variam conforme textura do solo, umidade, temperatura, formulação e quantidade de palhada, com desempenho superior em sistemas de plantio direto.

Nesse contexto, os resultados evidenciam que a eficiência do controle químico do azevém depende do adequado ajuste das estratégias de manejo à sua dinâmica de emergência e às condições edafoclimáticas locais. O emprego isolado de herbicidas, especialmente em ambientes com múltiplos fluxos de emergência, tende a resultar em menor persistência de controle. Em contraste, a associação de herbicidas aplicados em pré e pós-emergência proporciona maior estabilidade e eficácia ao manejo, além de auxiliar na mitigação da pressão de seleção por resistência. Tal experimento contribuiu para o avanço do conhecimento sobre o manejo químico do azevém, e abre perspectivas para novos estudos que aprimorem as estratégias de manejo em sistemas de produção de cevada.

7 CONCLUSÕES

Conclui-se que, no que se refere ao controle do azevém, a aplicação isolada de Pyroxasulfone apresenta maior eficiência residual quando comparada ao S-metolachlor; entretanto, estratégias de manejo sequencial ou em associação com Pinoxaden resultam em níveis de controle mais elevados e persistentes.

Nesse contexto, ao se considerar a seletividade dos herbicidas à cultura da cevada, observa-se que, em solos de textura mais arenosa, associados a condições adequadas de cobertura por palhada e regime pluviométrico, o S-metolachlor e o Pinoxaden apresentam maior seletividade em comparação ao Pyroxasulfone. Ainda assim, a associação entre Pyroxasulfone e Pinoxaden proporciona maiores valores de produtividade.

Por outro lado, em ambientes caracterizados por baixa quantidade de palhada aliada a elevados índices de precipitação, o Pyroxasulfone pode ocasionar sintomas de fitotoxicidade; contudo, a cultura demonstra capacidade de recuperação ao longo do ciclo, sem prejuízos ao peso hectolitro (PH), ao peso de mil grãos (PMG) e à produtividade.

REFERÊNCIAS

- ABU-NASSAR, J.; MATZRAFI, M. Effect of different temperatures on herbicide efficacy for the management of the invasive weed *Solanum rostratum* Dunal (Solanaceae). **Plants**, Basel, v. 14, p. 574, 2025.
- AGOSTINETTO, D.; TAROUCO, C. P.; NOHATTO, M. A.; OLIVEIRA, C.; FRAGA, D. S. Metabolic activity of wheat and ryegrass plants in competition. **Planta Daninha**, v. 35, 2017.
- AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Passo Fundo: Berthier, 2009. 352 p.
- AKHTER, M. J.; ABDURRUHMAN, M. A.; MATHIASSEN, S. K.; KUDSK, P. Low effectiveness of prosulfocarb and mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl against *Vulpia myuros*. **Plants**, Basel, 2021.
- ANGERS, D. A.; DAYEGAMIYE, A. N.; CÔTÉ, D. Tillage-induced differences in organic matter of particle-size fractions and microbial biomass. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 512–516, 1993.
- ASLAM, S.; MUELLER, T. C.; MUELLER, J. P.; HAYES, R. M. Influence of mulch decomposition and weather patterns on glyphosate and S-metolachlor dissipation and leaching. **Pest Management Science**, Hoboken, v. 70, n. 5, p. 716–724, 2014.
- BAGNARA, M. A. M.; GALON, L.; FORTE, C. T.; SENHORI, V. M.; ANJOS, A. D. R.; MÜLLER, G. L. Selectivity and efficacy of herbicides used on wheat to control ryegrass. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 19, n. 3, e3776, 2024.
- BALEM, R.; RODRIGUES, P. L.; MICHELON, C. J.; COSTA, L. Controle de nabo e azevém em trigo com herbicidas pós-emergentes. **Revista de Ciência e Inovação**, v. 6, n. 1, 2021.
- BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021. 281 p.
- BASAK, S.; MCELROY, J. S.; BROWN, A. M.; GONÇALVES, C. G.; PATEL, J. D.; MCCULLOUGH, P. E. Plastidic ACCase Ile-1781-Leu is present in pinoxaden-resistant southern crabgrass (*Digitaria ciliaris*). **Weed Science**, v. 68, n. 1, p. 41–50, 2020.
- BASSO, F. J. M. *et al.* Períodos de interferência de plantas daninhas infestantes da cevada. In: SEMINÁRIO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UFFS, 5., 2015, Erechim. **Anais [...]**. Erechim: Universidade Federal da Fronteira Sul, 2015.
- BECKIE, H. J.; HARKER, K. N. Our top 10 herbicide-resistant weed management practices. **Pest Management Science**, Chichester, v. 73, n. 6, p. 1045–1052, 2017.
- BLASER, H. U.; SPLINDER, F. Enantioselective catalysis for agrochemicals: the case history of the DUAL MAGNUM® herbicide. **Chimia**, p. 297–299, 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **AGROFIT**: sistema de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acesso em: 12 jul. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Portaria nº 691, de 22 de novembro de 1996. Aprova a norma de identidade e qualidade da cevada para comercialização interna. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 21 nov. 1996. Seção 1, p. 20–21. Disponível em: <http://www.codapar.pr.gov.br/arquivos/File/pdf/cevadaindus691_96.pdf> Acesso em: 5 ago. 2025.

BRASIL. Resolução nº 7, de 18 de fevereiro de 2011. Dispõe sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 mar. 2011. Seção 1, n. 46, p. 66. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2011/res0007_18_02_2011_rep.html> Acesso em: 20 set. 2025.

BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C.; OLIVEIRA JR., R. S.; SCAPIM, C. A.; VOLL, E.; GAZZIERO, D. L. P. Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura do girassol. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 251–257, 2004.

CAIERÃO, E. A cultura da cevada. In: CAIERÃO, E. (org.). **Cevada: história e evolução**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009.

CARBONARI, C. A.; COSTA, R. N.; BEVILAQUA, N. C.; PEREIRA, V. G. C.; GIOVANELLI, B. F.; LOPEZ-OVEJERO, R. F.; PALHANO, M.; BARBOSA, H.; VELINI, E. D. Volatilização de dicamba isolado e dicamba + glyphosate em função do redutor de volatilidade e diferentes superfícies. **Agriculture**, v. 10, p. 495, 2020.

CARVALHO, L. B. **Herbicidas**. 1. ed. Lages: UDESC, 2013a.

CARVALHO, L. B. **Plantas daninhas**. 1. ed. Lages: UDESC, 2013b. 72 p.

CHHOKAR, R. S.; SHARMA, R. K. Weed control in wheat with pyroxasulfone and its combinations with other herbicides. **Weed Biology and Management**, 2023.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; DAMIN, V.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M. **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. 1. ed. Piracicaba: ESALQ, 2008. 90 p.

CLAY, S. A.; THILL, D. C.; COCHRAN, V. L. Resposta da cevada de primavera (*Hordeum vulgare*) a herbicidas. **Weed Technology**, v. 2, p. 68-71, 1988.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra de grãos 2025: tabela comparativa de área, produtividade e produção de cevada**. Brasília, DF, 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/50528_3c2beae44d782e81ef5d4e976d06955b> Acesso em: 25 set. 2025.

CONCENÇO, G.; ANDRES, A.; SILVA, A. F.; GALON, L.; FERREIRA, E. A.; ASPIAZÚ, I. Ciência das plantas daninhas: histórico, biologia, ecologia e fisiologia. In: MONQUERO, P. A.

(ed.). **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. São Carlos: Rima; SBCPD, 2014. p. 1–29.

CORREIA, N. M.; CARVALHO, A. D. F. Selectivity of herbicides for sweet potato. **Weed Control Journal**, v. 20, n. 1, e202100740, 2021.

DA SILVA, A. N.; HOLDEFER, B.; OLIVEIRA, D. S.; DICKEL, I. C. H.; PRADO, M. T. S. Pre-emergence herbicides as a strategic tool in integrated weed management. **Enciclopédia Biosfera**, Jandaia, v. 22, n. 54, p. 94, 2025.

DAI, J.; JIN, L.; WANG, L.; ZHANG, Z. Determination and estimation of water solubilities and octanol/water partition coefficients for derivatives of benzanilides. **Chemosphere**, v. 37, p. 1419–1426, 1998.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Comportamento dos herbicidas no ambiente**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2018. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/185779/1/DOC-160.pdf>> Acesso em: 21 jul. 2024.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Época de aplicação dos herbicidas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do62_11.htm> Acesso em: 17 ago. 2024.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Linha do tempo da pesquisa com cevada cervejeira no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2023. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1153780/1/Documentos-204-online.pdf>> Acesso em: 25 ago. 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de produção: cultivo de cevada**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2023. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1155367/1/Cultivo-de-Cevada.pdf>> Acesso em: 8 ago. 2024.

EVANS, J. A.; TRANEL, P. J.; HAGER, A. G.; SCHUTTE, B.; WU, C.; CHATHAM, L. A.; DAVIS, A. S. Managing the evolution of herbicide resistance. **Pest Management Science**, 2015.

GALON, L.; TIRONI, S. P.; ROCHA, P. R. R.; CONCENÇO, G.; SILVA, A. F.; VARGAS, L.; SILVA, A. A.; FERREIRA, E. A.; MINELLA, E.; SOARES, E. R.; FERREIRA, F. A. Habilidade competitiva de cultivares de cevada convivendo com azevém. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 771–781, 2011.

GALON, L.; FORTE, C. T.; KUJAWISKI, R.; RADUNZ, A. L.; DAVID, F. A.; PERIN, G. F.; CASTOLDI, C. T.; RADUNZ, L. L. Eficácia e fitotoxicidade de herbicidas aplicados para o manejo de plantas daninhas em cevada. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 13, n. 2, p. 105–116, 2014.

GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; SILVA, A. F.; CONCENÇO, G. Estimating yield losses in soybean due to sourgrass interference. **Planta Daninha**, v. 37, 2019.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: ASA; SSSA, 1986. Part 1, p. 383–411. (Agronomy Monograph, 9).

GRUSS, I.; BĄCZEK, P.; ĆWIELAŁ-PIASECKA, I.; JĘDRZEJEWSKI, S.; MAGIERA-DULEWICZ, J.; TWARDOWSKA, K. Assessing the ecotoxicological effects of pesticides on non-target plant species. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 197, p. 1047, 2025.

HARTZLER, B.; ANDERSON, M. **Achieving full-season waterhemp control in soybean**. Ames: Iowa State University Extension and Outreach, 2019.

HEAP, I. **International survey of herbicide-resistant weeds**. 2014. Disponível em: <<https://www.weedscience.org>> Acesso em: 16 set. 2024.

HEAP, I. *The international herbicide-resistant weed database*. 2023. Disponível em: <<https://www.weedscience.org>> Acesso em: 10 ago. 2024.

HONG, Y.; ZHANG, G. P. The influence of water stress on the malt quality characteristics of wild and cultivated barley. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 19, n. 8, p. 2009–2015, 2020.

HRAC-BR. **Mecanismos de ação dos herbicidas**. Comitê de Ação à Resistência aos Herbicidas. Disponível em: <<https://www.hrac-br.org/mecanismosdeacao>> Acesso em: 30 set. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de cevada em 2025**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cevada/br>> Acesso em: 12 set. 2025.

INOUE, M. H.; OLIVEIRA, R. S.; CONSTANTIN, J.; ALONSO, D. G.; SANTANA, D. C. L. Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, p. 631–638, 2008.

KAUNDUN, S. S.; BAILLY, G. C.; DALE, R. P.; HUTCHINGS, S. J.; MCINDOE, E. A. A novel W1999S mutation and non-target site resistance impact on acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicides to varying degrees in a UK *Lolium multiflorum* population. **PLOS ONE**, v. 8, n. 2, 2013.

KERR, D. R.; CONCEPCION, J. C. T.; RIECHERS, D. E. Inheritance of resistance to S-metolachlor in a waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) population from central Illinois. **Weed Science**, v. 71, n. 6, p. 549–556, 2023.

KHALIL, Y.; FLOWER, K.; SIDDIQUE, K. H. M.; WARD, P. Effect of crop residues on interception and activity of prosulfocarb, pyroxasulfone, and trifluralin. **PLOS ONE**, 2018.

KUESTER, T.; SPENGLER, D. Structural and spectral analysis of cereal canopy reflectance and reflectance anisotropy. **Remote Sensing**, v. 10, p. 1767, 2018.

KUMAR, V.; KUMARI, A.; PRICE, A. J.; BANA, R. S.; SINGH, V.; BAMBORIYA, S. D. Impact of future climatic variables on weed biology and herbicide efficacy: a review. **Agronomy**, 2023.

LANDAU, O. A.; JAMISON, B. V.; RIECHERS, D. E. Transcriptomic analysis reveals cloquintocet-mexyl-inducible genes in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.). **PLOS ONE**, 2025.

LAVORENTI, A. Comportamento de herbicidas no meio ambiente. In: WORKSHOP DE BIODEGRADAÇÃO, 1996, Campinas. *Anais [...]*. Campinas: Embrapa, 1996. p. 14–16.

LEON, L. **Manejo integrado de malezas gramíneas en trigo en la precordillera de Ñuble**. Informativo INIA Quilamapu, 2019.

LIU, H.; XIONG, M. Toxicidade comparativa do metolachlor racêmico e do S-metolachlor para *Chlorella pyrenoidosa*. **Aquatic Toxicology**, v. 93, p. 100–106, 2009.

LONG, Y. H.; LI, R. T.; WU, X. M. Degradação de S-metolachlor no solo afetada por fatores ambientais. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 14, n. 1, p. 189–198, 2014.

LOVARELLI, D.; GARCIA, L. R.; SÁNCHEZ-GIRÓN, V.; BACENEL, J. Barley production in Spain and Italy: environmental comparison between different cultivation practices. **Science of the Total Environment**, 2020.

LYMAN, W. J.; BOETHLING, R. S.; MACKAY, D. **Handbook of chemical property estimation methods: environmental behaviour of organic compounds**. New York: McGraw-Hill, 1982.

MA, Q.; LI, Q.; WANG, J.; PARALES, R. E.; LI, L.; RUAN, Z. Exposure to three herbicide mixtures influenced maize root-associated microbial community structure, function and network complexity. **Environmental Pollution**, 2023.

MACHADO, F. G.; MENDES, R. R.; HENCKES, J. R.; MATTE, W. D.; OLIVEIRA JÚNIOR, S.; CONSTANTIN, J. Control spectrum of the new herbicide pyroxasulfone. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 22, n. 1, 2023.

MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo (carryover). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 151–164, ago. 2011.

MATTE, W. D. **Atividade residual de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da soja sobre o algodoeiro cultivado em sucessão**. 2017. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Sinop, Sinop, 2017.

MATTE, W. D.; HENCKES, J. R.; MACHADO, F. G.; MENDES, R. R.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. de; CONSTANTIN, J. Controle de plantas daninhas de amplo espectro com o novo herbicida piroxassulfona. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 22, 2023.

MAYER, E. T.; FUKU, G.; NÖRNBERG, J. L.; MINELLA, E. Caracterização nutricional de grãos integrais e descascados de cultivares de cevada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1635–1640, 2007.

MELHORANÇA, A. L. Seletividade dos herbicidas diclosulam, flumetsulam e cloransulam em diversas cultivares de soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 1, n. 2, 2000.

MENDES, M. F.; SOUSA, R. N.; DIAS, R. C.; REIS, M. R. Efeito residual de herbicidas em solos agricultáveis. In: TORNISIELO, V. L.; VILCA, F. Z.; GUIMARÃES, C. D.; MENDES, K. F. **Contaminantes orgânicos: da análise à biorremediação**. Piracicaba: FEALQ, 2019. p. 157–178.

MICHELON, C. J.; COSTA, L.; PADILHA, L. R.; BALEM, R. Controle de nabo e azevém em trigo com herbicidas pós-emergentes. **Revista de Ciência e Inovação do IF Farroupilha**, v. 6, n. 1, 2021.

MINELLA, E. **Árvore do conhecimento: cevada**. Brasília, DF: Embrapa, 2007. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cevada/arvore>> Acesso em: 27 ago. 2024.

MONQUERO, P. A.; HIRATA, A. C. S. Manejo de plantas daninhas com adubação verde. In: LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. v. 1, p. 481–507.

MONTEIRO, R. T. R. Biodegradação de pesticidas em solos brasileiros. In: MELO, I. S. **Biodegradação**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 1–28.

MUEHLEBACH, M.; CEDERBAUM, F.; CORNES, D.; FRIEDMANN, A. A.; GLOCK, J.; HALL, G.; INDOLESE, A. F.; KLOER, D. P.; GOUPIL, G. L.; MAETZKE, T.; MEIER, H.; SCHNEIDER, R.; STOLLER, A.; SZCZEPANSKI, H.; WENDEBORN, S.; WIDMER, H. Aryldiones incorporating a [1,4,5]-oxadiazepane ring. Part 2: chemistry and biology of the cereal herbicide pinoxaden. **Pest Management Science**, v. 67, p. 1499–1521, 2011.

MUELLER, T. C.; STECKEL, L. E. Efficacy and dissipation of pyroxasulfone and three chloroacetamides in a Tennessee field soil. **Weed Science**, v. 59, n. 4, p. 574–579, 2011.

MULATI, M.; CHAI, L.; XU, H.; WU, S.; ZHANG, W. Diversity of glyphosate-degrading bacteria and degradation genes from the unique soil environment of Xinjiang cotton fields. **Environmental Microbiome**, v. 20, p. 138, 2025.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; PINTO, L. F. Dias. **Atlas climático do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2019.

NOVAIS, J. R.; INOUE, M. H.; FRANCO, E. L. P.; MASSUQUINI, Z.; BORGES, S. X. S.; NEITZKE, C.; SILVA, A. C. F. da; GUIMARÃES, A. C. D. Potencial de lixiviação de piroxasulfona e piroxasulfona + flumioxazin em solo submetido a diferentes simulações de precipitação. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 1, p. 2800–2812, 2022.

NOVATZKI, M. A.; BRITO, J. M. O.; FELISBINO, K. **Portfólio de cultivares: cevada, trigo e soja 2024/2025**. Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária. Guarapuava: Agrária Sementes, 2025.

NUNES, A. L.; VIDAL, R. A.; GOULART, I. C. G. R.; KALSING, A. T. Tolerância de espécies de inverno a herbicidas residuais. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 443–448, 2007.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; REGITANO, J. B. Dinâmica de pesticidas no solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, R. F. (org.). **Química e mineralogia do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 187–248.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; INOUE, M. H. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 243–261.

OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. et al. (org.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 263–304.

PATEL, R.; JHA, A.; VERMA, B.; PORWAL, M.; TOPPO, O.; RAGHUWANSHI, S. Performance of pinoxaden herbicide against complex weed flora in wheat (*Triticum aestivum* L.). **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 13, n. 7, p. 339–345, 2023.

PESSOA, M. C. P. Y. **Software AGROSCORE: apoio à avaliação de tendências de transporte de princípios ativos de agrotóxicos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 26).

PIES, W.; WERLANG, T.; LUZ, A. C. P.; GALON, L.; TIRONI, S. P. Habilidade competitiva de cevada em convivência com densidades de azevém. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 14, n. 2, e5630, 2019.

PITELLI, R. A. Competição entre plantas daninhas e plantas cultivadas. In: MONQUERO, P. A. (org.). **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. São Carlos: RiMa, 2014. p. 61–81.

PRATA, F.; CARDINALI, V. C. B.; LAVORENTI, A.; TORNISIELO, V. L.; REGITANO, J. B. Glyphosate sorption and desorption in soils with distinct phosphorus levels. **Scientia Agricola**, v. 60, p. 175–180, 2003.

PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I. Seletividade do S-metolachlor a cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 1, p. 150–157, 2003.

QUINTANEIRO, C.; PATRÍCIO, D.; NOVAIS, S. C.; SOARES, A. M. V. M.; MONTEIRO, M. S. Endocrine and physiological effects of linuron and S-metolachlor in zebrafish developing embryos. **Science of the Total Environment**, v. 586, p. 390–400, 2017.

REGITANO, J. B. Propriedades físico-químicas dos defensivos e seu destino no ambiente. In: SIMPÓSIO SOBRE DINÂMICA DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NO SOLO, 2002, Piracicaba. **Anais [...]**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2002. p. 40–50.

RIZZARDI, M. A. **Herbicidas pré-emergentes em trigo: uma tendência que veio para ficar**. [S.l.], 2021.

RIZZARDI, M. A. **Manejo químico da piroxasulfona**. [S.l.]: Up-Herb – Academia das Plantas Daninhas, 2019. Disponível em: <<https://www.upherb.com.br/int/piroxasulfona>> Acesso em: 30 ago. 2024.

RIZZARDI, M. A.; ROCKENBACH, A. P.; SCHNEIDER, T. Residual herbicides increase the period prior to interference in soybean cultivars. **Planta Daninha**, v. 38, e020222194, 2020.

ROBINSON, M. A.; LETARTE, J.; COWBROUGH, M. J.; SIKKEMA, P. H.; TARDIF, F. J. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) response to herbicides as affected by application timing and temperature. *Canadian Journal of Plant Science*, v. 95, n. 2, p. 325–333, 2015.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 7. ed. Londrina: Grafmarke, 2018. 764 p.

RONCATTO, E.; BARROSO, A. A. M.; ALBRECHT, A. J. P.; NOVELLO, B. D.; SILVA, R. G.; BACKES, C. B. W. Shortening critical period of weed control in soybean using residual herbicide mixtures. **Advances in Weed Science**, v. 41, 2023.

ROSA, A.; MACHRY, C.; NICOLA, D.; JANDREY, J.; SARTORI, I.; SILVA, C.; NAVARINI, L. Uso de herbicidas em pós-emergência para o controle de *Lolium multiflorum* e *Avena strigosa* na cultura do trigo. Ibirubá, RS: **MOEPEX**, 2016.

SANTI, R. H. M.; NOVELLI, M. A. R.; MANICA, D. S.; PIEZENTINI, D.; MARCON, E. L.; PICOLI, C. D.; SANTOS, F. M. Efeito de herbicidas pré e pós-emergentes na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.). **SICT Research**, Bento Gonçalves, v. 11, 2022.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SCHEER, F. A.; AGUIAR, A. C. M.; RAMOS, D. T.; SILVA, G. F.; TREVIZAN, K.; ROCKENBACH, A. P. Uso de herbicidas pré-emergentes no controle de azevém e seus efeitos sobre a cultura do trigo. **Revista de Agronomia e Medicina Veterinária – IDEAU**, v. 12, n. 2, 2025.

SHANER, D. L. **Herbicide handbook**. 10. ed. Champaign, IL: Weed Science Society of America, 2014. 513 p.

SHASHIDHAR, K. S.; JEBERSON, M. S.; PREMARADHYA, N.; PRIYANKA, I.; VINODA, K. S. Effect of different pre- and post-emergent herbicide applications on productivity of black gram (*Vigna mungo* L.) under acidic soils of Manipur. **Journal of Current Opinion in Crop Science**, v. 1, n. 1, p. 21–26, 2020.

SHEHZAD, M. A.; IQBAL, M.; ARIF, M.; AHMED, N.; AREEB, A. Weed control and wheat (*Triticum Aestivum* L.) yield under application of different post-emergence herbicides. **International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science**, v. 2, p. 133-141, 2012.

SILVA JÚNIOR, A. C.; PEREIRA, M. R. R.; MARTINS, D. Evaluating percolation of the herbicide S-metolachlor with bioindicator plants. *Revista de Ciências Agrárias – Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v. 58, n. 1, p. 36–44, 2015.

SILVA, A. A.; D'ANTONINO, L.; VIVIAN, R.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. Comportamento de herbicidas no solo. In: MONQUERO, P. A. (org.). **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. São Carlos: RiMa, 2014. p. 165–216.

SILVA, A. P.; MARQUES, R. F.; SILVA JÚNIOR, A. C.; MARCHI, S. R.; MARTINS, D. Leaching potential of S-metolachlor in a medium-textured Oxisol using bioindicator plants. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 26, n. 3, p. 159–165, 2022.

SOLTANI, N.; SHROPSHIRE, C.; SIKKEMA, P. H. Response of Spring Planted Cereals to Pyroxasulfone. University of Guelph Ridgetown Campus, Canada. *International Research Journal of Plant Science*, v. 3, p. 113–119, 2012.

SONDHIA, S.; PAWAR, D. V.; DASARI, S. Degradation dynamics, correlations, and residues of carfentrazone-ethyl, fenoxaprop-p-ethyl, and pinoxaden under continuous application in wheat fields. *Environmental Geochemistry and Health*, 2023.

SOUZA, D. S.; DASSOLER, O. A.; TEDESCO, L.; PERIN, G. F.; GALON, L. Ferramentas tecnológicas para avaliar efeitos de herbicidas e plantas daninhas em características morfofisiológicas de cereais de inverno. Chapecó: Universidade Federal da Fronteira Sul, 2023.

TAKANO, H. K.; KALSING, A.; FADIN, D. A.; RUBIN, R. S.; NEVES, R.; MARQUES, L. H. Chemical weed management in grain sorghum and selectivity of atrazine + S-metolachlor to different hybrids. *International Journal of Maize and Sorghum*, v. 17, n. 3, p. 460–473, 2018.

TANETANI, Y.; IKEDA, M.; KAKU, K.; SHIMIZU, T.; MATSUMOTO, H. Role of metabolism in the selectivity of the herbicide pyroxasulfone between wheat and rigid ryegrass seedlings. *Journal of Pesticide Science*, v. 38, n. 3, p. 152–156, 2013.

TANG, W.; ZHOU, F.; CHEN, J.; ZHOU, X. Resistance to ACCase-inhibiting herbicides in an Asia minor bluegrass (*Polypogon fugax*) population in China. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, v. 108, n. 1, p. 16–20, 2014.

TAYLOR, V. L.; CUMMINS, I.; BRAZIER-HICKS, M.; EDWARDS, R. Protective responses induced by herbicide safeners in wheat. *Environmental and Experimental Botany*, v. 88, n. 1, p. 93–99, 2013.

TIRONI, S. P.; GALON, L.; SILVA, A. F.; FIALHO, C. M. T.; ROCHA, P. R. R.; FARIA, A. T.; ASPIAZÚ, I.; FORTE, C. T.; SILVA, A. A.; RADÜNZ, A. L. Época de emergência de azevém e nabo sobre a habilidade competitiva da cultura da cevada. *Ciência Rural*, v. 44, n. 9, p. 1527–1533, 2014.

ULLMANN, S.; QUEIROLO, A. Características botânicas da cevada. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

VARGAS, L.; HENCKES, J. R.; SCHMITZ, M. F.; PIASECKI, C.; CECHIN, J.; TORCHELSEN, J.; AGOSTINETTO, D. Caracterização e manejo de azevém (*Lolium*

multiflorum L.) resistente a herbicidas em áreas agrícolas. **Revista Plantio Direto e Tecnologia Agrícola**, edição Plantas Daninhas, n. 162, p. 15–19, 2018.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas: conceitos, origem e evolução**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006.

VARGAS, L.; MARIANI, F.; GAZZIERO, D. L. P.; KARAM, D.; AGOSTINETTO, D. Azevém resistente: manejo e controle. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL SOBRE PLANTAS DANINHAS RESISTENTES A HERBICIDAS, 2., 2015, Jaboticabal. *Anais* [...]. Jaboticabal: FCAV, 2015. p. 1-5.

VÁZQUEZ-GARCÍA, J. G. et al. O acúmulo de mutações em genes-alvo confere resistência múltipla a inibidores de ALS, ACCase e EPSPS em espécies de *Lolium* no Chile. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, 2020.

WALSH, M. J.; FOWLER, T. M.; CROWE, B.; AMBE, T.; POWLES, S. B. The potential for pyroxasulfone to selectively control resistant and susceptible rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) biotypes in Australian grain crop production systems. **Weed Technology**, v. 25, 2011.

WESTRA, E. P.; SHANER, D. L.; WESTRA, P. H.; CHAPMAN, P. L. Dissipation and leaching of pyroxasulfone and S-metolachlor. **Weed Technology**, v. 28, n. 1, p. 72–81, 2014.

WOŁEJKO, E. et al. Dissipation of S-metolachlor in plant and soil and effect on enzymatic activities. **Environmental Monitoring and Assessment**, 2017.

YAMAJI, Y.; HONDA, H.; HANAI, R.; INOUE, J. Soil and environmental factors affecting the efficacy of pyroxasulfone for weed control. **Journal of Pesticide Science**, 2016.

YU, H.; MA, X.; CUI, H.; CHEN, J.; LI, X. Responses of soil enzymes, bacterial communities and soil nitrification to the pre-emergence herbicide pyroxasulfone. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 285, art. 117141, 2024.

ZANATTA, J. F. et al. Interações entre herbicidas e inseticidas na cultura do algodão: uma revisão. **Revista da FZVA**, v. 14, n. 2, p. 34–45, 2007.

ZEMOLIN, C. R.; ÁVILA, L. A.; CASSOL, G. V.; MASSEY, J. H.; CAMARGO, E. R. Dinâmica ambiental do herbicida S-metolachlor: uma revisão. **Planta Daninha**, v. 32, p. 655–664, 2014.