

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO PEDRO DE BARROS LEINECKER

HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES APLICADOS NA PALHA VERDE OU SECA:
INTERCEPTAÇÃO DA CALDA, CONCENTRAÇÃO NO SOLO E CONTROLE DE
PLANTAS DANINHAS EM PLANTIO DIRETO

CURITIBA

2025

JOÃO PEDRO DE BARROS LEINECKER

HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES APLICADOS NA PALHA VERDE OU SECA:
INTERCEPTAÇÃO DA CALDA, CONCENTRAÇÃO NO SOLO E CONTROLE DE
PLANTAS DANINHAS EM PLANTIO DIRETO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Arrobas Martins Barroso

CURITIBA

2025

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP) UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Leinecker, João Pedro de Barros

Herbicidas pré-emergentes aplicados na palha verde ou seca: interceptação da calda, concentração no solo e controle de plantas daninhas em plantio direto / João Pedro de Barros Leinecker. – Curitiba, 2025.

1 recurso online: PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal).

Orientador: Prof. Dr. Arthur Arrobas Martins Barroso

1. Herbicida. 2. Plantio Direto. 3. Palha - Utilização na agricultura. 4. Erva Daninha. I. Barroso, Arthur Arrobas Martins. II. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal). III. Título.

Bibliotecária: Talita Nunes Silva Gonçalves CRB-9/2244



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL) - 40001016031P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **JOÃO PEDRO DE BARROS LEINECKER**, intitulada: **HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES APLICADOS NA PALHA VERDE OU SECA: INTERCEPTAÇÃO DA CALDA, CONCENTRAÇÃO NO SOLO E CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS EM PLANTIO DIRETO**, sob orientação do Prof. Dr. ARTHUR ARROBAS MARTINS BARROSO, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Julho de 2025.

Assinatura Eletrônica

28/07/2025 11:37:38.0

ARTHUR ARROBAS MARTINS BARROSO

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

28/07/2025 11:57:43.0

RODRIGO WERLE

Avaliador Externo (UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON)

Assinatura Eletrônica

28/07/2025 19:49:55.0

MAURICIO ZANOVELLO SCHUSTER

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil
CEP 80035-050 - Tel: (41) 3350-5601 - E-mail: pgapv@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.
Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 468154

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://siga.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 468154

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as bênçãos e graças recebidas ao longo dessa caminhada.

Aos meus pais, Maria Barros e João Osmar Leinecker, por todo apoio e incentivos dedicados à minha formação. Sou profundamente grato por todo o esforço que vocês sempre fizeram pela educação dos seus filhos. Vocês são meu exemplo de trabalho, humildade e dedicação.

À minha esposa, Débora Petermann, por sempre me incentivar, ajudar, apoiar, ensinar, amar e ter paciência nos momentos difíceis. Obrigado pelas incontáveis conversas e discussões sobre ciência, pelo quanto você me ajuda diariamente e por extrair o melhor de mim. Você é minha inspiração em trabalho, foco e comprometimento com a pós-graduação. Muito obrigado por tudo.

Às minhas irmãs, Ana Laura e Maria Luiza, pelo apoio e carinho em todos os momentos dessa jornada. Ao meu primo e irmão de coração, Vinícius Barros, pelas conversas, pela amizade e por estar sempre ao meu lado. Agradeço também à minha família Barros e Leinecker pelos momentos de descanso, lazer e acolhimento ao longo desse período.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Arthur Arrobas Martins Barroso, por todos os ensinamentos, pela paciência, pelas oportunidades, pelo incentivo e pelas trocas de ideias durante a condução deste trabalho.

Ao pós-doutorando Maurício Schuster, pelos ensinamentos valiosos na escrita científica e na análise de dados.

À Rede de Pesquisa em Matologia, aos colegas da pós-graduação e da graduação que contribuíram com a execução do trabalho e pelas conversas que tanto enriqueceram essa experiência. Obrigado pela amizade e por compartilharem o dia a dia comigo.

Aos amigos Ênio e Guilherme Paraboni, que me auxiliaram muito nas avaliações, especialmente no primeiro ano.

Ao pessoal do laboratório NUPAM, em Botucatu, pela excelente recepção e pelas análises realizadas.

À família Petermann, por todo apoio e por não medirem esforços para incentivar a mim e à Débora nos estudos.

Aos professores, técnicos e funcionários da UFPR, pelo suporte, pelo conhecimento compartilhado e pelo trabalho diário em prol da minha formação.

À Universidade Federal do Paraná e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio institucional e pela concessão da bolsa de mestrado.

RESUMO

A semeadura de cultivos no verde realizada com a cobertura vegetal ainda viva, tem sido adotada em sistemas de plantio direto como estratégia para prolongar o ciclo da cultura de cobertura, aumentar a produção de biomassa e potencializar o controle de plantas daninhas. No entanto, essa prática modifica significativamente o ambiente de aplicação de herbicidas em relação ao manejo tradicional com palha seca, podendo interferir na interceptação da pulverização, na deposição das gotas no solo e na disponibilidade do ingrediente ativo, especialmente no caso de herbicidas pré-emergentes que atuam sobre o banco de sementes. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia agrônômica de herbicidas pré-emergentes aplicados em dois manejos contrastantes de cobertura vegetal no sistema de plantio direto: a palha seca, proveniente da dessecação realizada 14 dias antes da semeadura (manejo convencional), e a palha verde, dessecada no mesmo dia da semeadura (semeadura no verde). O experimento foi conduzido por dois anos consecutivos (safras 2023/24 e 2024/25) na Fazenda Experimental Canguiri da Universidade Federal do Paraná, utilizando aveia (*Avena* spp.) como cultura de cobertura. Os tratamentos consistiram na aplicação, em sistema “plante-aplique”, de três herbicidas: S-metolachlor ($1.920 \text{ g ia ha}^{-1}$), clomazone microencapsulado (720 g ia ha^{-1}) e diclosulam (35 g ia ha^{-1}), além de uma testemunha sem aplicação. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. As variáveis avaliadas incluíram a interceptação da calda pela palha (densidade de gotas e porcentagem de cobertura no momento da aplicação), concentração dos herbicidas no solo aos 14 e 28 dias após a aplicação, quantidade de palha remanescente, e a densidade e massa seca das plantas daninhas até 56 dias após a semeadura. A palha verde apresentou maior acúmulo de biomassa no momento da aplicação, o que aumentou a interceptação da calda e reduziu a concentração dos herbicidas no solo, especialmente nos primeiros 14 dias. Apesar disso, o controle de plantas daninhas não foi prejudicado nos tratamentos com diclosulam e clomazone, com indícios de efeito aditivo entre os herbicidas e a cobertura viva. Em contraste, o S-metolachlor teve sua eficácia significativamente reduzida sob palha verde, prejudicando o controle das espécies. Essa resposta diferencial está relacionada às propriedades físico-químicas dos produtos: compostos mais hidrofílicos e com menor afinidade por matéria orgânica, como o diclosulam, apresentaram maior transposição da cobertura para o solo, enquanto herbicidas mais lipofílicos, como o S-metolachlor, foram mais retidos na palha, principalmente a verde. Os resultados indicam que o uso de herbicidas pré-emergentes é uma alternativa viável na semeadura no verde, desde que sejam selecionados produtos com características favoráveis à transposição da palha.

Palavras-chave: plantio no verde; s-metolachlor; clomazone; diclosulam; residual.

ABSTRACT

Planting green, carried out with the cover crop still alive at the time of sowing, has been adopted in no-till systems as a strategy to extend the cover crop cycle, increase biomass production, and enhance weed control. However, this practice significantly modifies the herbicide application environment compared with the traditional management with dead mulch, potentially affecting spray interception, droplet deposition on the soil, and the availability of the active ingredient, especially in the case of pre-emergence herbicides that act on the weed seedbank. This study aimed to evaluate the agronomic efficacy of pre-emergence herbicides applied under two contrasting cover crop managements in a no-till system: dead mulch, obtained by desiccation 14 days before sowing (conventional management), and green mulch, desiccated on the same day as sowing (planting green). The experiment was carried out over two consecutive growing seasons (2023/24 and 2024/25) at the Canguiri Experimental Farm of the Federal University of Paraná, using oat (*Avena* spp.) as the cover crop. Treatments consisted of the “plant-then-spray” system with three herbicides: S-metolachlor (1,920 g a.i. ha⁻¹), microencapsulated clomazone (720 g a.i. ha⁻¹), and diclosulam (35 g a.i. ha⁻¹), plus an untreated control. The experimental design was a randomized complete block with four replications. Evaluated variables included spray interception by mulch (droplet density and percentage of coverage at application), herbicide concentration in the soil at 14 and 28 days after application, remaining mulch biomass, and weed density and dry mass up to 56 days after sowing. Planting green resulted in greater biomass accumulation at the time of application, which increased spray interception and reduced soil herbicide concentration, especially within the first 14 days. Despite this, weed control was not compromised in treatments with diclosulam and clomazone, with evidence of an additive effect between the herbicides and the living cover. In contrast, S-metolachlor efficacy was significantly reduced under planting green, impairing species control. This differential response was related to the physicochemical properties of the products: more hydrophilic compounds with lower affinity for organic matter, such as diclosulam, exhibited greater translocation from mulch to soil, whereas more lipophilic herbicides, such as S-metolachlor, were more retained in the mulch, particularly when green. The results indicate that the use of pre-emergence herbicides is a feasible alternative in planting green systems, provided that products with favorable characteristics for translocation through mulch are selected.

Keywords: Planting green; S-metolachlor; clomazone; diclosulam; residual.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Precipitação média diária (mm) e precipitação acumulada nas safras 2023/24 e 2024/25, registrada desde a aplicação dos herbicidas até os momentos das avaliações.	17
Figura 2 - Temperatura média diária (°C) nas safras 2023/24 e 2024/25, registrada desde a aplicação dos herbicidas até a última avaliação.	17
Figura 3 - Densidade de gotas depositadas (gotas cm ⁻²) (a e b) e porcentagem de cobertura da pulverização (%) (c e d) sobre palha seca ou verde, nos anos agrícolas de 2023/24 e 2024/25.	26
Figura 4 - Imagens dos papéis hidrossensíveis logo após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes sobre palha seca ou verde, nas safras de 2023/24 e 2024/25.	27
Figura 5 - Massa seca (t ha ⁻¹) aos 14 dias (a e b) e 28 dias (c e d) após a aplicação de herbicidas pré-emergentes sobre palha seca ou verde, nos anos agrícolas de 2023/24 e 2024/25.	29
Figura 6 - Densidade de plantas daninhas (<i>Urochloa</i> spp., <i>Richardia brasiliensis</i>), após a aplicação de S-metolachlor aos 14, 28 e 56 dias nas safras 2023/24 e 2024/25.	36
Figura 7 - Massa seca de plantas daninhas (<i>Urochloa</i> spp., <i>Richardia brasiliensis</i>) após a aplicação de S-metolachlor aos 14, 28 e 56 dias, nas safras 2023/24 e 2024/25.	37
Figura 8 - Densidade de plantas daninhas (<i>Urochloa</i> spp., <i>Richardia brasiliensis</i> , <i>Ipomoea</i> spp., <i>Raphanus raphanistrum</i> , <i>Bidens</i> spp.), após a aplicação de clomazone aos 14, 28 e 56 dias, nas safras 2023/24 e 2024/25.	39
Figura 9 - Massa seca de plantas daninhas (<i>Urochloa</i> spp., <i>Richardia brasiliensis</i> , <i>Ipomoea</i> spp., <i>Raphanus raphanistrum</i> , <i>Bidens</i> spp.) após a aplicação de clomazone aos 14, 28 e 56 dias, nas safras 2023/24 e 2024/25.	40
Figura 10 - Densidade de plantas daninhas (<i>Ipomoea</i> spp., <i>Raphanus raphanistrum</i> , <i>Bidens</i> spp., <i>Euphorbia heterophylla</i>), após a aplicação de diclosulam aos 14, 28 e 56 dias, nas safras 2023/24 e 2024/25.	42
Figura 11 - Massa seca de plantas daninhas (<i>Ipomoea</i> spp., <i>Raphanus raphanistrum</i> , <i>Bidens</i> spp., <i>Euphorbia heterophylla</i>) após aplicação de diclosulam aos 14, 28 e 56 dias, nas safras 2023/24 e 2024/25.	43
Figura 12 - Imagens das parcelas dos tratamentos com herbicidas pré-emergentes aplicados em diferentes tipos de palha, 14, 28 e 56 dias após a aplicação, na safra 2023/24.	46
Figura 13 - Imagens das parcelas dos tratamentos com herbicidas pré-emergentes aplicados em diferentes tipos de palha, 14, 28 e 56 dias após a aplicação, na safra 2024/25.	47

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Características físico-químicas dos herbicidas S-metolachlor, clomazone e diclosulam.....	15
Tabela 2 - Datas de semeadura da cobertura da aveia, aplicação dos pré-emergentes e propriedades dos solos.....	16
Tabela 3 - Condições ambientais durante a aplicação dos herbicidas em cada safra.	16
Tabela 4 - Tabela dos tratamentos com o manejo da palha e herbicidas residuais.	18
Tabela 5 - Concentração de herbicidas pré emergentes no solo após aplicação em palha seca ou verde (ng/g de solo), 14 e 28 dias após a aplicação.....	30
Tabela 6 - Massa seca de plantas daninhas com a aplicação de S-metolachlor, clomazone e diclosulam em palha seca ou verde 14, 28 e 56 dias após a aplicação dos herbicidas para safra 23/24.	56
Tabela 7 - Densidade de plantas daninhas com a aplicação de S-metolachlor, clomazone e diclosulam em palha seca ou verde 14, 28 e 56 dias após a aplicação dos herbicidas para safra 23/24.	57
Tabela 8 - Massa seca de plantas daninhas com a aplicação de S-metolachlor, clomazone e diclosulam em palha seca ou verde 14, 28 e 56 dias após a aplicação dos herbicidas para safra 24/25.	58
Tabela 9 - Densidade de plantas daninhas com a aplicação de S-metolachlor, clomazone e diclosulam em palha seca ou verde 14, 28 e 56 dias após a aplicação dos herbicidas para safra 24/25.	59

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 SISTEMA DE PLANTIO DIRETO EM PALHA SECA OU VERDE E O CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS	10
2.2 DINÂMICA DE HERBICIDAS RESIDUAIS NA PALHA	12
2.3 S-METOLACHLOR, CLOMAZONE, DICLOSULAM: MECANISMO DE AÇÃO E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	15
3.2 DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	18
3.3 AVALIAÇÕES REALIZADAS	19
3.3.1 Amostragem da quantidade de massa da cultura de cobertura.....	19
3.3.2 Deposição do herbicida no momento da aplicação	20
3.3.3 Quantificação dos herbicidas no solo	20
3.3.4 Avaliação de ocorrência e controle de planta daninha	21
3.3.5 Análise estatística	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 INTERCPTAÇÃO PELA PALHA NO MOMENTO DE APLICAÇÃO.....	25
4.2 DECOMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DE PALHA VERDE E SECA APÓS A APLICAÇÃO DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES.....	28
4.3 CONCENTRAÇÃO DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NO SOLO SOB PALHA VERDE E SECA	30
4.4 EFICÁCIA DE CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS POR HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES SOB PALHA VERDE E SECA.....	35
5. CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS	48
ANEXOS	54

1. INTRODUÇÃO

O plantio direto tem sido amplamente adotado em regiões tropicais e subtropicais como uma estratégia fundamental para a conservação do solo e a sustentabilidade da produção agrícola. Entre seus benefícios agronômicos destacam-se a redução da erosão, o aumento da matéria orgânica, a melhoria da estrutura do solo e a supressão parcial de plantas daninhas (FUENTES-LLANILLO et al., 2021; MANTOVANI et al., 2024; CHEN et al., 2023). A manutenção da cobertura do solo com palha, proveniente de culturas antecessoras, é um dos pilares para o sucesso do sistema, influenciando diretamente a dinâmica física, química e biológica da interface solo-planta (CHEN et al., 2023).

Tradicionalmente a semeadura da cultura principal é realizada sobre palha seca, oriunda da dessecação da cobertura vegetal cerca de duas semanas antes do plantio. No entanto, em diversas situações práticas, agricultores realizam o plantio no verde, com semeadura simultânea à dessecação da cobertura ainda viva (FICKS et al., 2023). Essa escolha está frequentemente associada a estratégias de intensificação e uso eficiente do solo, como o prolongamento do ciclo da cultura de cobertura para maximizar a produção de biomassa (FICKS et al., 2023; NUNES et al., 2023b), a adequação ao calendário operacional em janelas curtas de plantio (HINTZ et al., 2025), aumentar o tempo de pastejo em sistemas integrados lavoura-pecuária (NUNES et al., 2021), além da busca dos benefícios ecossistêmicos proporcionados por essa condição (REED et al., 2019). Essa prática modifica significativamente o ambiente de aplicação dos herbicidas e pode interferir na interceptação da calda, na chegada do ingrediente ativo ao solo e na produção de biomassa que regula a emergência de plantas daninhas (REED et al., 2019; SCHUSTER et al., 2020; NUNES et al., 2023a).

A cobertura do solo com palha é reconhecida por reduzir parcialmente a emergência de plantas daninhas por meio de mecanismos como sombreamento, redução da amplitude térmica, barreira física e efeitos alelopáticos (SCHUSTER et al., 2016; NICHOLS et al., 2020; ALFREDAS et al., 2025; DONG et al., 2024). No entanto, estudos indicam que a palha isoladamente não garante níveis adequados de controle de plantas daninhas (NUNES et al., 2024). Diante do aumento da ocorrência de espécies resistentes a herbicidas pós-emergentes (HEAP, 2025), cresce a necessidade de integrar práticas de controle químico residual com o uso de pré-emergentes que atuem nas fases iniciais da infestação (CHUDZIK et al., 2025; MACEDO et al., 2020).

A aplicação de herbicidas sobre cobertura viva apresenta desafios específicos, pois a maior massa e umidade da palha verde podem favorecer a retenção da calda e a degradação

superficial do produto, reduzindo sua transposição para o solo (SANTOS et al., 2024). Embora alguns estudos tenham investigado a dinâmica de herbicidas em diferentes coberturas (SILVA, 2016; MACEDO et al., 2020; NUNES et al., 2023a), ainda são limitadas as informações que relacionam, de forma integrada, a interceptação da pulverização, a concentração efetiva no solo e o controle de plantas daninhas em sistemas com palha verde.

Apesar do crescente interesse em compreender os efeitos da cobertura vegetal viva sobre a eficácia de herbicidas, grande parte dos estudos permanece concentrada em avaliações isoladas, seja da concentração do ingrediente ativo no solo (SILVA, 2016; MACEDO et al., 2020; NUNES et al., 2023b), seja da resposta de determinadas espécies de plantas daninhas sob uma única condição de manejo (REED et al., 2019; NUNES et al., 2024). São escassas as comparações diretas entre herbicidas com propriedades físico-químicas contrastantes aplicados sobre palha seca versus palha viva. Neste contexto, o presente estudo avaliou, de forma integrada, a palha residual, a deposição da calda, a concentração no solo e a eficácia agronômica de três herbicidas pré-emergentes S-metolachlor, clomazone microencapsulado e diclosulam aplicados em cobertura previamente dessecada ou ainda viva no momento da semeadura. A avaliação agronômica foi conduzida com base nas espécies-alvo com controle registrado nos rótulos dos herbicidas, o que permitiu avaliar com maior precisão os efeitos diferenciais do manejo da palha sobre a eficácia de cada produto. Ao integrar diferentes mecanismos de ação, propriedades físico-químicas contrastantes e variáveis ecológicas e agronômicas sob condições operacionais realistas, este trabalho avança de forma inédita na compreensão dos fatores que modulam a eficácia do controle de plantas daninhas por herbicidas pré-emergentes em sistemas com semeadura no verde.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA DE PLANTIO DIRETO EM PALHA SECA OU VERDE E O CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS

O plantio direto consiste na semeadura realizada sobre os resíduos de uma cultura anterior utilizando equipamentos especializados que realizam apenas a abertura de sulcos no solo para a deposição das sementes restringindo a mobilização do solo exclusivamente às linhas de semeadura (MANTOVANI et al., 2024). Essa prática foi inicialmente desenvolvida no estado do Paraná, Brasil na década de 1970 (OFSTEHAGE e NEHRING, 2021; MANTOVANI et al., 2024) e desde então tem se expandido para as regiões agrícolas. Amplamente adotada em

diferentes países ao redor do mundo o plantio direto ocupa aproximadamente 180 milhões de hectares globalmente (KASSAM et al., 2019). O Brasil destaca-se como um dos líderes mundiais na adoção dessa tecnologia, com cerca de 90% da área de culturas comerciais na região Sul manejada sob o plantio direto (CAIRES e GUIMARÃES, 2018).

A presença de palha no sistema de cultivo pode promover alterações na composição das comunidades de plantas daninhas (DUAN et al., 2021). A cobertura do solo com palha pode dificultar a emergência de plântulas de espécies cujas sementes possuem reservas energéticas limitadas, uma vez que a energia disponível pode não ser suficiente para atravessar a camada de cobertura vegetal em busca de luz (SILVA, 2016; ALFREDAS et al., 2025). Além do efeito sobre a profundidade de emergência, a palha funciona como uma barreira física, reduzindo a emergência de plantas daninhas por meio do sombreamento e da consequente diminuição da amplitude térmica do solo (ALFREDAS et al., 2025). Adicionalmente, os resíduos vegetais na superfície do solo podem exercer efeitos alelopáticos, através da liberação de compostos químicos capazes de inibir o desenvolvimento de plantas daninhas (DONG et al., 2024). Por outro lado, a palha também pode criar condições microambientais favoráveis para a emergência de algumas espécies, principalmente aquelas cujas sementes se beneficiam da maior retenção de umidade e da atenuação das variações de temperatura promovidas pela cobertura do solo (SILVA, 2016; ALFREDAS et al., 2025).

Quanto maior a quantidade de palha presente no sistema de cultivo, maior a supressão de plantas daninhas (NICHOLS et al., 2020). Com o objetivo de maximizar a produção de biomassa das culturas de cobertura e consequentemente aumentar o potencial de supressão de plantas daninhas, alguns agricultores têm adotado a técnica do plantio no verde (NUNES et al., 2023a; FICKS et al., 2023). Essa prática consiste na aplicação do herbicida para dessecação da cultura de cobertura no mesmo dia da semeadura da cultura de interesse ou a semeadura direta sem dessecação (REED et al., 2019; FICKS et al., 2023). O plantio no verde permite o prolongamento do ciclo da cultura de inverno, resultando em maior acúmulo de biomassa e, assim, em maior cobertura do solo e controle de plantas daninhas (FICKS et al., 2023; NUNES et al., 2024). Além disso, a presença da cobertura viva no momento do plantio promove alterações nas condições microambientais do solo, como a redução da umidade e da temperatura em comparação ao sistema de plantio direto tradicional (REED et al., 2019). Essas modificações podem influenciar diretamente na dinâmica de emergência e no controle das plantas daninhas.

Estudos indicam que isoladamente tanto a palha verde quanto a palha seca não são suficientes para proporcionar um controle satisfatório de plantas daninhas em sistemas de plantio direto, reforçando a necessidade de integrar outras práticas de manejo para alcançar

níveis adequados de controle (NUNES et al., 2024). Dentre as estratégias de manejo que vêm ganhando destaque nos últimos anos em áreas de plantio direto, destaca-se o uso de herbicidas pré-emergentes (NUNES et al., 2024; CHUDZIK et al., 2025). Esses herbicidas apresentam diversas vantagens agronômicas, como o controle precoce de plantas daninhas, a redução da pressão de competição nas fases críticas de desenvolvimento da cultura, a contribuição para o manejo de populações resistentes, redução da densidade e tamanho de plantas daninhas que competem com a cultura durante o ciclo (MACEDO et al., 2020; NUNES et al., 2023a; CHUDZIK et al., 2025). Proporcionar condições adequadas para que ocorra um efeito aditivo entre a cobertura de palha (verde ou seca) e o herbicida pré-emergente é fundamental para potencializar o controle de plantas daninhas. Para isso, é essencial compreender quais herbicidas e quais condições de manejo favorecem a máxima eficácia dessa combinação.

2.2 DINÂMICA DE HERBICIDAS RESIDUAIS NA PALHA

Os processos que regulam a dinâmica dos herbicidas pré-emergentes no ambiente incluem suas propriedades físico-químicas além de mecanismos como retenção (absorção, adsorção e precipitação), transporte (lixiviação, escoamento superficial, volatilização e deriva) e transformação (abiótica ou biótica) (OLIVEIRA et al., 2021). Esses fatores, em conjunto, determinam a quantidade de herbicida efetivamente disponível no solo para o controle das plantas daninhas.

No sistema de plantio direto uma parcela significativa do herbicida aplicado fica retida na palha depositada na superfície do solo (ASLAM et al., 2014). Além disso, quanto maior o tempo de permanência do herbicida sobre a palha, maior a sua exposição a processos de perda, como volatilização e fotodegradação, resultando em menor quantidade disponível para transposição da palha e consequente absorção pelas plantas daninhas (RODRIGUES e ALMEIDA, 2018). Diversos fatores podem influenciar a concentração e o transporte dos herbicidas da palha até o solo, incluindo o momento e a dose de aplicação, o tipo e a quantidade de cobertura vegetal, a intensidade e o volume de precipitação, além das propriedades físico-químicas do herbicida e do solo (SANTOS et al., 2024).

Entre as principais características físico-químicas dos herbicidas que influenciam sua dinâmica na palha destacam-se a solubilidade em água (S), pressão de vapor (PV), constante de dissociação ácida-básica (pK_a/pK_b), coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}), coeficiente de sorção (K_d) e o tempo de meia-vida de degradação ($t_{1/2}$) (KHALIL et al., 2019; NUNES et al., 2023a).

A solubilidade em água (S) representa a quantidade máxima de herbicida que se dissolve em água pura a uma determinada temperatura e pressão (OLIVEIRA et al., 2021). Em geral, herbicidas com maior solubilidade apresentam menores coeficientes de adsorção ao solo e à palha (SILVA et al., 2014), o que favorece sua transposição pela cobertura vegetal e chegada ao solo (SILVA 2016).

O coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) indica a hidrofobicidade do herbicida (OLIVEIRA et al., 2021). Produtos com valores elevados de K_{ow} são considerados lipofílicos e apresentam maior tendência de adsorção à matéria orgânica da palha, enquanto herbicidas com baixos valores de K_{ow} são mais hidrofílicos, favorecendo sua mobilidade e transposição da cobertura vegetal (SILVA et al., 2014). De forma geral, pré-emergentes altamente lipofílicos tendem a permanecer retidos na palha, ao passo que compostos mais hidrofílicos têm maior facilidade em alcançar o solo.

A pressão de vapor (PV) representa o potencial da passagem de um herbicida do estado líquido ou sólido para o gasoso (SILVA et al., 2014). Herbicidas com maior PV têm maior suscetibilidade à volatilização, reduzindo seu tempo de permanência tanto na palha quanto no solo (OLIVEIRA et al., 2021). Assim, quando há um longo intervalo entre a aplicação do herbicida e a ocorrência de chuva, perdas por volatilização e por fotodegradação podem reduzir significativamente a quantidade de produto que atinge o solo (RODRIGUES e ALMEIDA, 2018).

A constante de dissociação ácida-básica (pK_a / pK_b) indica a tendência de ionização do herbicida (OLIVEIRA et al., 2021). Dependendo do pH do solo, os herbicidas podem comportar-se como ácidos (formando cargas negativas), como bases (formando cargas positivas), ou ainda permanecer na forma não iônica (SILVA et al., 2014). Alguns herbicidas não apresentam esta característica, se mantendo sempre em determinado estado iônico ou neutro.

O coeficiente de sorção normalizado ao carbono orgânico (K_{oc}) fornece uma estimativa da afinidade do herbicida pela matéria orgânica do solo. Esse índice é calculado a partir do coeficiente de sorção (K_d) e do teor de carbono orgânico do solo (WEBER et al., 2000). Herbicidas com K_{oc} elevado apresentam menor mobilidade no solo e, conseqüentemente, menor risco de lixiviação.

2.3 S-METOLACHLOR, CLOMAZONE, DICLOSULAM: MECANISMO DE AÇÃO E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

O ingrediente ativo S-metolachlor tem como mecanismo de ação a inibição de ácidos graxos de cadeia muito longa (AGCML), em que o herbicida atua na ligação com elongases e impede produção de lipídeos usados na membrana plasmática. O S-metolachlor pertence ao grupo químico das cloroacetamidas e sua aplicação é recomendada em pré-emergência para gramíneas e algumas dicotiledôneas (RANGANI et al., 2021). O sintoma do efeito sobre plantas sensíveis caracteriza-se pelo entumescimento dos tecidos e pelo enrolamento do caulículo em monocotiledôneas, enquanto em folhas largas observam-se clorose e necrose (DALAZEN, 2024).

O ingrediente ativo clomazone é um inibidor da biossíntese de carotenoides, seu mecanismo de ação bloqueia a síntese dos pigmentos carotenoides. Sem os carotenoides, a clorofila fica exposta a radiação solar e é degradada, o que irá acarretar a geração de espécies reativas de oxigênio e a morte a planta (RIGON, 2024). Ele pertence ao grupo químico da isoxazolidinonas, é aplicado em pré-emergência de plantas daninhas dicotiledôneas e gramíneas (OLIVEIRA et al., 2021). O sintoma característico desse herbicida é o surgimento de folhas brancas (crescimento albino) (RIGON, 2024). A formulação encapsulada de clomazone consiste em partículas formadas por um núcleo interno contendo o ingrediente ativo e uma membrana de revestimento, geralmente polimérica, essa estrutura visa proteger o ingrediente ativo e controlar sua liberação no ambiente (SCHREIBER et al., 2015).

O ingrediente ativo diclosulam inibe a enzima acetolactato sintase (ALS), ocasionando a redução dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina disponíveis para síntese proteica (BRAZ et. al., 2024). Ele pertence ao grupo químico triazolopiriminas, recomendado para aplicação em pré-emergência de plantas daninhas de amplo especto (OLIVEIRA et al., 2021). O sintoma desse herbicida é o amarelecimento de bordas foliares com posterior necrose nos pontos de crescimento (BRAZ et. al., 2024). Tabela 1 apresenta as principais características físico químicas destes herbicidas.

Tabela 1 - Características físico-químicas dos herbicidas S-metolachlor, clomazone e diclosulam.

Propriedades físico-química	Solubilidade em água	Densidade	Pressão de vapor	Constante de dissociação (pK _a)	K _{ow}	K _{oc}	Tempo de meia vida
	mg L ⁻¹	g mL ⁻¹	mPa		Log	mL/g	Dia (t ½)
S-metolachlor	480	1,12	3,7	0	3,05	200	51,8
Clomazone	1.212	1,19	27,0	0	2,58	300	22,6
Diclosulam	6,32	1,74	6,67X10 ⁻¹⁰	4,00	0,85	90	49

Fonte: PESTICIDE PROPERTIES DATA BASE (2025); RODRIGUES e ALMEIDA, 2018.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Para avaliar o efeito do plantio direto sobre palha verde ou seca e o uso de herbicidas pré-emergentes no controle de plantas daninhas, foi realizado um experimento conduzido por dois anos consecutivos (durante as safras de 2023/2024 e 2024/2025) no Centro de Estações Experimentais – CEEEx, na Fazenda Canguiri, pertencente à Universidade Federal do Paraná (UFPR), localizada no município de Pinhais – PR. Como cultura de cobertura, foi utilizada aveia (*Avena* spp.), pertencente à família Poaceae, amplamente empregada em sistemas de plantio direto nas regiões tropicais e subtropicais, incluindo o Paraná. No presente estudo, a cobertura consistiu em uma mistura de aveia-preta (*Avena strigosa*) e aveia-branca (*Avena sativa*), espécies reconhecidas por seu elevado potencial de produção de biomassa e pela capacidade de suprimir plantas daninhas. Na safra 2023/24, o experimento foi conduzido na área localizada nas coordenadas 25°23'24.1"S e 49°08'37.0"W. Na safra 2024/25, na área com coordenadas 25°23'31.9"S e 49°08'37.5"W. A Tabela 2 apresenta os dados da época de plantio da cultura de cobertura, aplicação de dessecação da palha seca, dos herbicidas pré-emergentes e as propriedades dos solos.

Tabela 2 - Datas de semeadura da aveia, aplicação dessecação palha seca, dos herbicidas pré-emergentes e propriedades dos solos.

Safra		Datas		Propriedades do solo							Textura do solo
	Semeadura	Aplicação dessecação palha seca	Aplicação pré-emergente	M.O	----- % -----			pH	Bases	CTC	
					Areia	Silte	Argila				
								CaCl ₂	V%	pH 7,0	
2023/24	10/07/2023	09/10/2023	23/10/2023	6,03	27	16	57	5,2	74,7	15,2	Argilosa
2024/25	19/07/2024	10/10/2024	24/10/2024	3,87	38	22	40	5,2	66,7	12,9	Argilosa

M.O= Matéria orgânica.

Os tratamentos pré-emergentes nas duas safras foram aplicados utilizando-se pulverizador costal pressurizado por CO₂, com barra de 2m e quatro pontas de pulverização do tipo TTI110015 (TeeJet®, Cotia, SP, Brasil), pulverizados a uma velocidade de 3,6 km h⁻¹ e 200 L ha⁻¹. As datas e condições climáticas durante as aplicações dos herbicidas estão na Tabela 3.

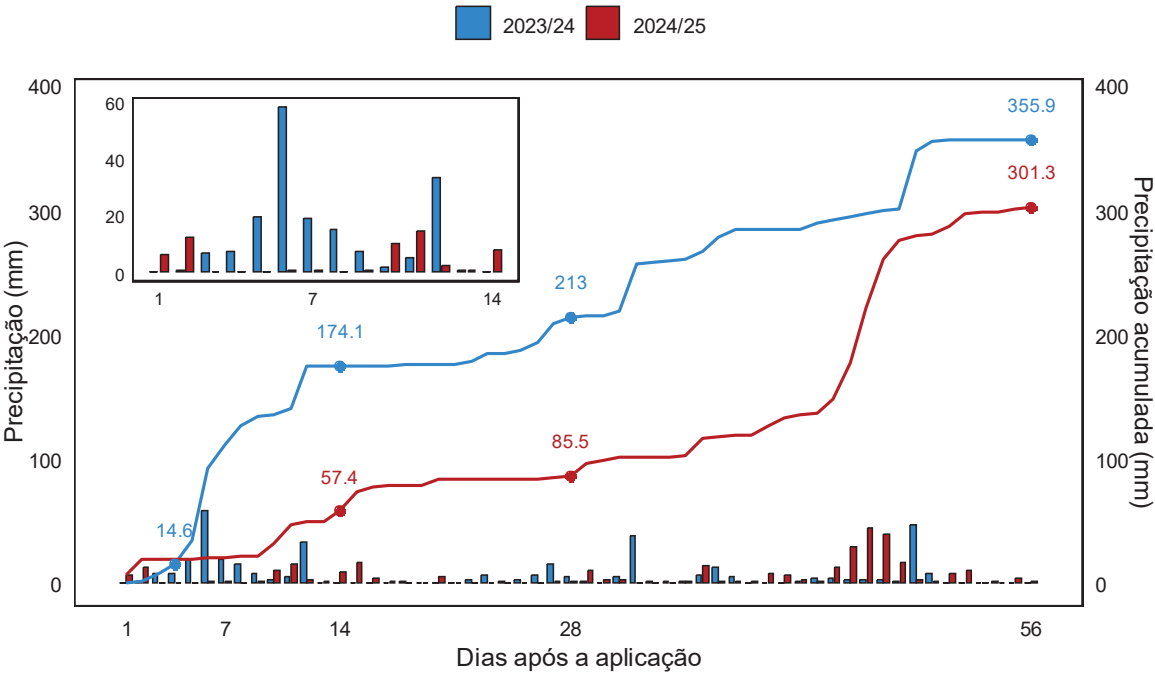
Tabela 3 - Condições ambientais durante a aplicação dos herbicidas em cada safra.

Safra	Data da aplicação	Vento	Temperatura	UR	Horário
		km h ⁻¹	°C	%	
2023/24	23/10/2023	0	24,6	69	16:30 – 17:30
2024/25	24/10/2024	0	28,3	52	10:00 – 11:00

UR: umidade relativa do ar. Fonte: autor, 2025

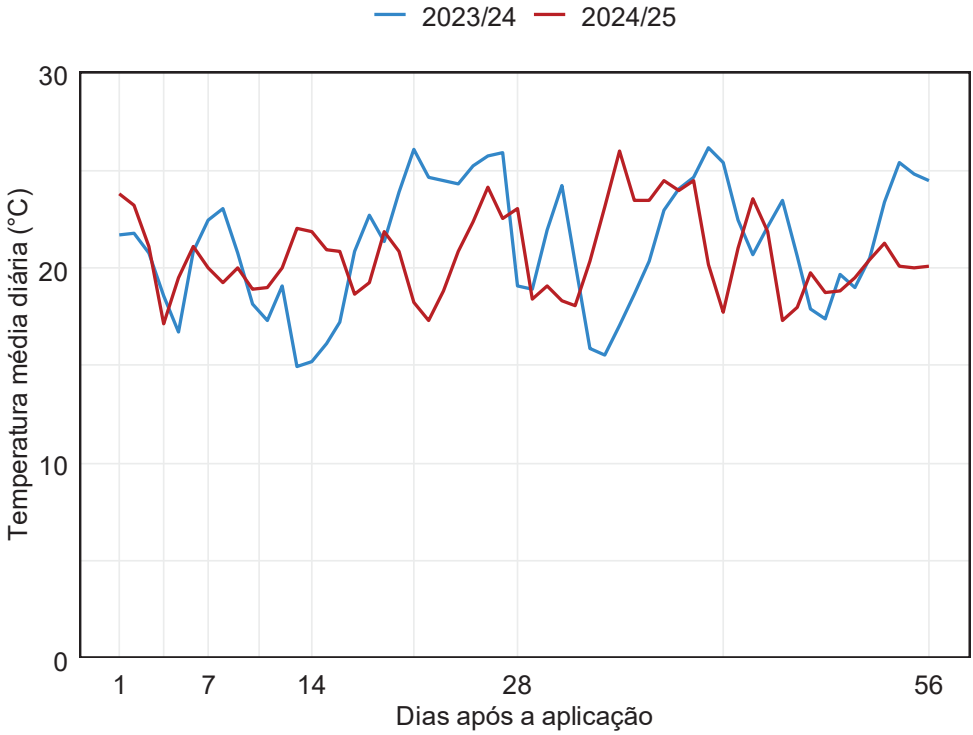
As condições climáticas durante a condução do experimento estão apresentadas nas figuras 1 e 2, que mostram a precipitação acumulada desde a aplicação dos herbicidas até o momento das avaliações após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes, além da temperatura média registrada no período.

Figura 1 - Precipitação média diária (mm) e precipitação acumulada nas safras 2023/24 e 2024/25, registrada desde a aplicação dos herbicidas até os momentos das avaliações.



Dados obtidos da versão Hourly 2.xx do Projeto POWER em 14/05/2025.

Figura 2 - Temperatura média diária (°C) nas safras 2023/24 e 2024/25, registrada desde a aplicação dos herbicidas até a última avaliação.



Dados obtidos da versão Hourly 2.xx do Projeto POWER em 14/05/2025.

Para caracterização da cobertura vegetal no momento de aplicação dos herbicidas pré-emergentes, foram coletadas amostras em cinco pontos aleatórios para cada manejo da palha, coletando toda a biomassa presente em uma área de 0,25 m² por ponto. Na safra 2023/24, a aveia apresentava menor acúmulo de biomassa, com 3,27 t ha⁻¹ de massa fresca e 2,70 t ha⁻¹ de massa seca na palha seca (dessecação 14 dias antes do plantio), e 7,32 t ha⁻¹ de massa fresca e 3,00 t ha⁻¹ de massa seca na palha verde (dessecação no dia do plantio). Já na safra 2024/25, o acúmulo foi consideravelmente maior, atingindo 11,49 t ha⁻¹ de massa fresca e 3,50 t ha⁻¹ de massa seca na palha seca, e 20,24 t ha⁻¹ de massa fresca e 6,16 t ha⁻¹ de massa seca na palha verde. Essas diferenças são atribuídas principalmente às condições climáticas distintas entre as safras, que influenciaram o desenvolvimento da cobertura vegetal até o momento da aplicação. Durante o período de cultivo da cobertura vegetal, a precipitação total foi de 591,9 mm e a temperatura média foi de 16,9 °C na safra 2023/24, enquanto na safra 2024/25 foram registrados 239,1 mm de precipitação e temperatura média de 17,4 °C. Considerando o intervalo entre a dessecação realizada 14 dias antes do plantio e a dessecação no dia do plantio, a precipitação acumulada foi de 129,3 mm e a temperatura média de 17,5 °C na safra 2023/24. Para a safra 2024/25, esses valores foram de 63,7 mm e 19,3 °C, respectivamente.

3.2 DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS

Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições e oito tratamentos. Os tratamentos consistiram na aplicação de três herbicidas em cada manejo da palha (seca ou verde), além de uma testemunha sem aplicação para cada condição de palha (Tabela 4).

Tabela 4 - Tabela dos tratamentos com o manejo da palha e herbicidas residuais.

	Pré-semeadura (14 dias antes do plantio)	Sistema plante-aplique (no dia do plantio)
1	Glyphosate	S-metolachlor
2	Glyphosate	Clomazone
3	Glyphosate	Diclosulam
4	Glyphosate	-
5	-	Glyphosate + S-metolachlor
6	-	Glyphosate + clomazone
7	-	Glyphosate + diclosulam
8	-	Glyphosate

Fonte: autor, 2025.

A escolha dos herbicidas considerou a utilização de ingredientes ativos com diferentes mecanismos de ação e propriedades físico-químicas, de modo a possibilitar uma melhor compreensão do comportamento dos produtos nas diferentes condições de palha. Outro critério adotado foi a seleção dos principais herbicidas pré-emergentes utilizados no estado do Paraná, com base em dados do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (IBAMA, 2023).

Os ingredientes ativos foram aplicados nas seguintes doses: glyphosate a 758,52 g ea ha⁻¹ (Roundup Transorb R[®], 480 g ea L⁻¹, Monsanto[®]), S-metolachlor a 1.680 g ia ha⁻¹ (Dual Gold[®], 960 g ia L⁻¹, Syngenta[®]), clomazone a 540 g ia ha⁻¹ (Reator[®], 360 g ia L⁻¹, FMC[®]) e diclosulam a 29,4 g ia ha⁻¹ (Spider[®], 840 g ia kg⁻¹, Corteva[®]).

As parcelas experimentais tiveram dimensões de 3 × 4 m (12 m²). No primeiro ano (2023/24), a aveia foi semeada a lanço utilizando o equipamento Vicon PS 603, regulado para distribuir 70 kg ha⁻¹ de sementes. Logo após a semeadura, foi realizada uma gradagem com grade niveladora, com o objetivo de incorporar as sementes ao solo. Na safra 2024/25, a aveia foi semeada utilizando uma semeadora direta (Semeadeira Plantadeiras Gihal GA 2019), com espaçamento entre linhas de 17 cm e profundidade de 2,5 cm, ajustada para distribuir a mesma densidade de 70 kg ha⁻¹ de sementes. Em ambas as safras, não foi realizada adubação no momento da semeadura da cobertura, seguindo o manejo típico da região. Trinta dias após a semeadura foi aplicada uma adubação de cobertura com 150 kg ha⁻¹ de ureia. A variedade de aveia-preta utilizada foi a IAPAR 61 Ibiporã, a de aveia-branca utilizada foi a IPR Suprema.

3.3 AVALIAÇÕES REALIZADAS

3.3.1 Amostragem da quantidade de massa da cultura de cobertura

A amostragem da quantidade de massa seca residual da palha foi realizada aos 14 e 28 dias após a aplicação dos herbicidas. As coletas foram realizadas retirando-se todo o material contido em um quadrado de 0,25 m² por repetição. Para a determinação da massa seca, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa com circulação de ar forçada, a 60 °C, até atingirem peso constante. O peso da matéria seca foi então obtido com o auxílio de uma balança de precisão. Por fim, os valores foram convertidos e expressos em toneladas por hectare (t ha⁻¹), estimando-se a quantidade média de massa presente em cada tratamento e em cada manejo da palha.

3.3.2 Deposição do herbicida no momento da aplicação

A deposição da calda herbicida no momento da aplicação foi avaliada por meio de cartões hidrossensíveis (76×26 mm, WSPAPER[®], Presidente Prudente, SP, Brasil), ferramenta amplamente utilizada para quantificar a distribuição e cobertura de gotas em aplicações a campo. Em cada unidade experimental, um cartão foi posicionado horizontalmente sobre o solo, sob o dossel da palha de aveia, simulando a condição real de interceptação da pulverização em sistemas de plantio direto.

As condições de aplicação, incluindo o tipo de pulverizador, pontas utilizadas, volume de calda e velocidade de deslocamento, foram previamente descritas na Seção 3.2. Complementarmente, destaca-se que não havia ocorrência de orvalho ou gotas visíveis sobre a superfície da palha no momento da aplicação, assegurando que os resultados obtidos com os cartões não fossem mascarados por umidade pré-existente na cobertura vegetal.

Após a aplicação, os cartões foram imediatamente recolhidos, armazenados em suportes rígidos protegidos da luz e da umidade, e fotografados sob iluminação padronizada. As imagens foram analisadas por meio do software Gotas (CHAIM et al., 2006). O processamento digital baseia-se em algoritmos de segmentação por contraste de cor, que identificam automaticamente as regiões manchadas por gotas em relação à área total do cartão. Em seguida, realiza-se a conversão da contagem de pixels em unidades métricas, determinando-se dois parâmetros: (i) densidade de gotas (gotas cm^{-2}) e (ii) porcentagem de cobertura (% da área coberta pela calda). Esses indicadores são amplamente utilizados para avaliar a eficiência de deposição da pulverização e da capacidade de interceptação da cobertura vegetal (FERREIRA et al., 2019; NUNES et al., 2023a). A quantificação padronizada da deposição permite comparar, de forma objetiva, o efeito da estrutura e da biomassa da palha (verde ou seca) sobre a interceptação da calda e, conseqüentemente, sobre a quantidade efetiva de herbicida que atinge o solo durante a aplicação.

3.3.3 Quantificação dos herbicidas no solo

Para a determinação da concentração dos herbicidas pré-emergentes no solo foram coletadas amostras na profundidade de 0 a 10 cm, aos 14 e 28 dias após a semeadura da cultura. A coleta foi realizada com o auxílio de um trado. Para cada parcela, foram coletadas 10 amostras simples de solo, que posteriormente foram homogeneizadas para formar uma amostra composta de 200 g por repetição. Após a coleta, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos e

mantidas congeladas em freezer (-20 °C) até o preparo para análise. As análises laboratoriais foram realizadas no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista (UNESP), em Botucatu, São Paulo.

Para realizar a extração dos herbicidas as amostras foram descongeladas e separou-se uma alíquota de 7 g de cada amostra de solo, que foi acondicionada em cartuchos plásticos com volume total de 10 mL, contendo uma pastilha porosa para retenção de partículas de solo. Cada amostra foi saturada com 2,5 mL de água deionizada e permaneceu em repouso durante 24 horas, sob refrigeração (8 ± 3 °C). Posteriormente, as amostras foram centrifugadas em centrífuga Hettich Zentrifugen a 3.270 g, a 25°C, por 10 minutos, coletando-se toda a solução presente no coletor em seguida. Esta solução foi filtrada em seringas plásticas de 3,0 mL equipadas com filtro Millipore e transferida para frascos tipo “vials”, de 2,0 mL, os quais foram armazenados em freezer a -20 °C até o momento da quantificação dos herbicidas por cromatografia e espectrometria de massas.

A quantificação do herbicida presente na solução coletada foi realizada por meio de um sistema LC-MS/MS, composto por um Cromatógrafo Líquido de Alta Performance (HPLC), da marca Shimadzu, modelo Prominence UFLC, equipado com duas bombas LC-20AD, injetor automático SIL-20AC, degaseificador DGU-20A5, controlador CBM-20A e forno CTO-20AC. O HPLC foi acoplado a um espectrômetro de massas 3200 Q TRAP da Applied Biosystems, do tipo triplo quadrupolo, constituído por coluna de C18, marca Synergi 2,5 μ Hydro-RP 100 Å, com dimensões de 50 $\times$ 4,6 mm e volume de injeção de 20 μ L. As análises foram efetuadas utilizando o modo gradiente, com fases móveis compostas por metanol e água com ácido acético (pH 3,0). A partir das áreas dos picos e das concentrações dos padrões dos herbicidas, foram determinadas a equação linear de regressão, o coeficiente de correlação, o coeficiente de determinação, o limite de detecção e o limite de quantificação do método (MEIER; ZÜND, 1993).

3.3.4 Avaliação de ocorrência e controle de planta daninha

A densidade das plantas daninhas presentes em cada parcela foi determinada aos 14, 28 e 56 dias após a aplicação por meio da contagem das plantas presentes dentro de um quadro de 50 cm $\times$ 50 cm (0,25 m²), lançado aleatoriamente em cada repetição. Além disso, foi realizada a coleta da biomassa aérea das plantas daninhas nos mesmos períodos, utilizando o mesmo quadro de 0,25 m². O material coletado foi acondicionado em sacos de papel e levado para

secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, por 72 horas, até atingir peso constante. A massa seca foi então determinada com o uso de balança de precisão. A coleta de massa seca e a contagem de plantas foi realizada por cada espécie.

Posteriormente, para melhor avaliar a eficácia dos herbicidas pré-emergentes nas diferentes condições de palha, foi realizada a análise separada para cada época de avaliação, classificando as plantas daninhas em dois grupos para cada herbicida: espécies registradas na bula do produto comercial aplicado e espécies não registradas. Para isso, foram consideradas as bulas dos produtos comerciais disponíveis no site Agrofít (Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários) na data de julho de 2025. Para entender melhor os efeitos dos herbicidas sob diferentes condições de palha, as espécies registradas em bula foram agrupadas e avaliadas quanto à densidade e à massa seca, para cada herbicida. A distinção das espécies recomendadas em bula para as não recomendadas foi considerada na apresentação e discussão dos resultados, o que permitiu uma avaliação mais precisa dos dados, especialmente porque já existem testes prévios comprovando a eficácia dos herbicidas sobre essas espécies. Essa abordagem também reflete a prática comum adotada, que baseiam a recomendação de herbicidas na verificação de que a planta daninha alvo consta entre as espécies registradas na bula do produto. As espécies presentes nas áreas experimentais estavam distribuídas de forma uniforme. As plantas daninhas avaliadas foram: para o S-metolachlor, *Urochloa* spp. e *Richardia brasiliensis*; para o clomazone, *Urochloa* spp., *Richardia brasiliensis*, *Ipomoea* spp., *Raphanus raphanistrum* e *Bidens* spp.; e para o diclosulam, *Ipomoea* spp., *R. raphanistrum*, *Bidens* spp. e *Euphorbia heterophylla*. Ademais dessas espécies, também foram observadas na área de avaliação plantas de *Cyperus* spp.

3.3.5 Análise estatística

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o objetivo de avaliar com precisão os efeitos específicos de cada herbicida sob diferentes condições de manejo da palha (seca ou verde). Como o experimento foi conduzido em duas safras agrícolas distintas (2023/24 e 2024/25), que apresentaram contrastes marcantes no regime de precipitação, temperatura e na quantidade de biomassa acumulada até o momento da aplicação dos tratamentos, somado as condições edafoclimáticas, se optou por realizar as análises separadas para cada safra. Essa abordagem permitiu interpretar os efeitos dos tratamentos dentro das condições particulares de cada ano, reconhecendo que, apesar do rigor experimental e do delineamento estatístico adotado, fatores ambientais não controláveis, como o clima e o desenvolvimento das coberturas

vegetais, influenciaram significativamente os resultados.

A exposição do mesmo arranjo experimental a diferentes contextos ambientais confere maior robustez às inferências, permitindo testar a consistência das respostas agrônômicas em cenários contrastantes, como ocorre na prática agrícola. Essa estratégia, amplamente adotada em estudos de ecologia agrícola e ciência das culturas, permite não apenas avaliar os efeitos médios, mas também compreender a estabilidade e a sensibilidade das respostas às condições ambientais (GHOSH et al., 2024; NICHOLS et al., 2015), favorecendo uma extrapolação mais realista dos resultados a sistemas produtivos heterogêneos.

Todas as análises foram realizadas no ambiente estatístico R (R Core Team, 2025). Os dados foram avaliados quanto à normalidade e à homogeneidade de variâncias por meio da inspeção visual dos resíduos dos modelos e do teste de Shapiro-Wilk. A escolha da distribuição estatística adotada em cada variável considerou a natureza dos dados, a estrutura dos resíduos e os critérios de ajuste dos modelos, de forma a evitar transformações que pudessem comprometer a interpretação dos resultados. Variáveis contínuas foram analisadas com distribuição Gaussiana, enquanto variáveis de contagem, sob dispersão ou com assimetria, foram analisadas com distribuições da família Poisson ou binomial negativa.

Os modelos foram ajustados utilizando a estrutura de Modelos Lineares Generalizados Mistos (GLMMs), por meio do pacote glmmTMB (BROOKS et al., 2017), que oferece flexibilidade para lidar com diferentes distribuições de probabilidade, sobredispersão e inclusão de efeitos aleatórios. Essa abordagem foi essencial para acomodar a natureza das variáveis avaliadas e a estrutura hierárquica dos dados.

Quando detectado efeito significativo dos tratamentos, as comparações entre médias foram realizadas conforme a distribuição ajustada por meio do pacote emmeans (LENTH, 2022). Para variáveis modeladas com erro normal (distribuição Gaussiana), utilizou-se o teste de Tukey ($\alpha = 0,05$), apropriado para comparações múltiplas com controle do erro tipo I familiar (FWER, family-wise error rate) sob pressupostos de homocedasticidade e normalidade dos resíduos. Para variáveis com distribuições não normais (como Poisson ou binomial negativa), foi aplicado o procedimento de Holm-Bonferroni ($\alpha = 0,05$), que também controla o FWER, mas com maior robustez frente à assimetria dos dados e sem exigir homogeneidade de variância. O uso do teste de Holm nesses casos se justifica por ser mais conservador e adequado para modelos com distribuições generalizadas (HOTHORN et al., 2008).

Além das comparações múltiplas entre tratamentos, foram realizados contrastes planejados entre cada herbicida e a respectiva testemunha (sem aplicação de pré-emergente), dentro de cada condição de palha (seca ou verde). Essa abordagem visou avaliar a contribuição

isolada da aplicação do herbicida em relação ao efeito da cobertura vegetal. Os contrastes foram implementados diretamente nos modelos GLMM, respeitando a estrutura de distribuição de cada variável e controlando a variabilidade intra-experimental.

Adicionalmente, com o objetivo de avaliar o efeito principal do manejo da palha, independentemente do herbicida utilizado, foram ajustados modelos mistos complementares. Nesses modelos, o manejo da palha foi incluído como efeito fixo, enquanto os fatores herbicida e bloco experimental foram tratados como efeitos aleatórios. Essa estrutura mista permite capturar variações sistemáticas associadas ao manejo da cobertura, ao mesmo tempo em que controla a heterogeneidade entre blocos e ingredientes ativos, evitando o superajuste de efeitos específicos que não são o foco direto da inferência. A adoção dessa abordagem é recomendada especialmente em experimentos de campo com múltiplos tratamentos e estrutura hierárquica, pois aumenta a precisão na estimação dos efeitos principais sem inflar o erro tipo I (GELMAN e HILL, 2007).

Todos os modelos foram validados por meio da avaliação visual dos resíduos padronizados, verificação de sobredispersão e, quando aplicável, comparação entre modelos alternativos utilizando o Critério de Informação de Akaike (AIC). A seleção final dos modelos buscou o melhor equilíbrio entre qualidade de ajuste, parcimônia e coerência biológica dos efeitos estimados, seguindo os princípios da modelagem baseada em evidência (BURNHAM e ANDERSON, 2002).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

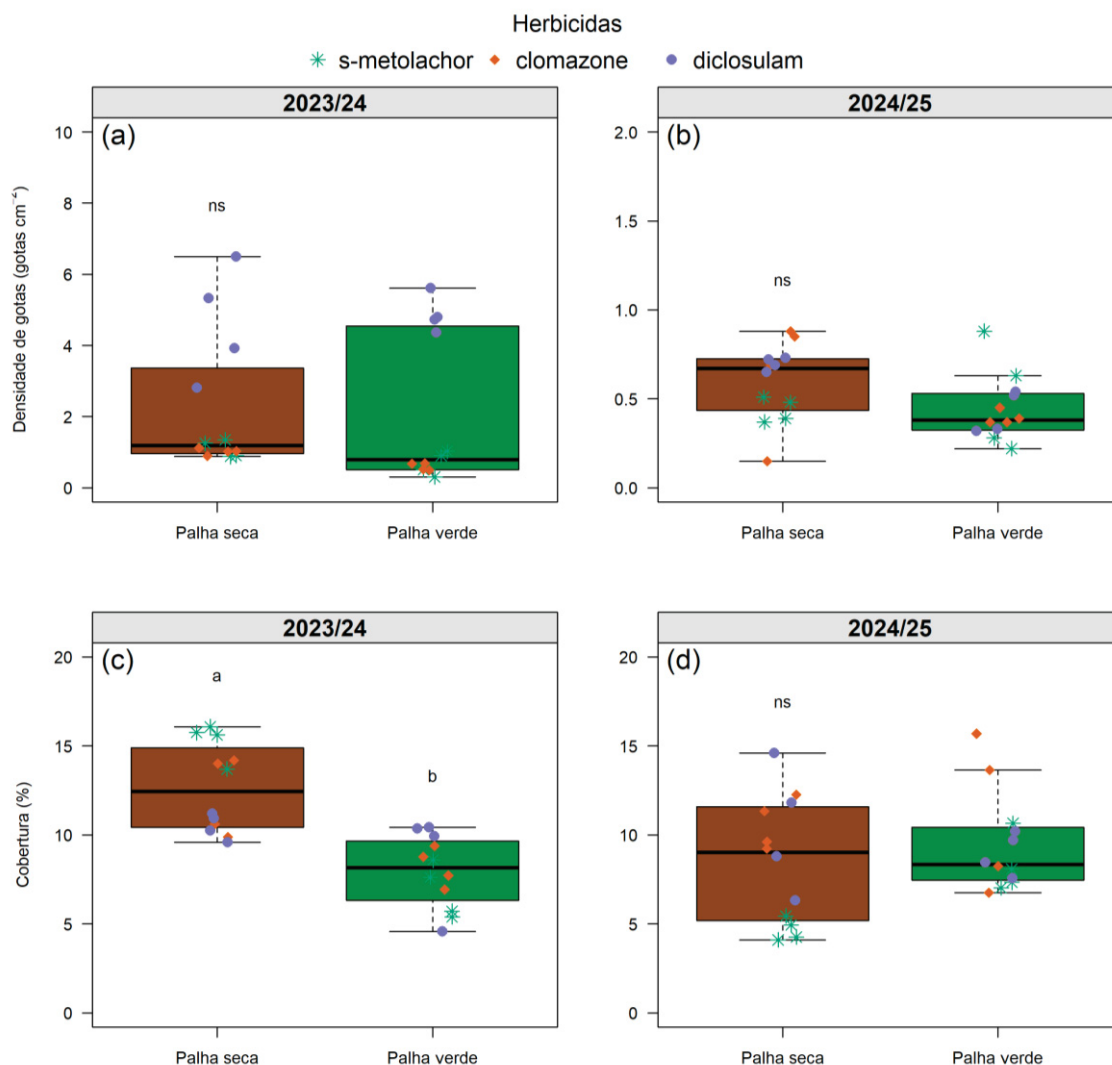
Os resultados obtidos neste estudo demonstram que o manejo da cobertura vegetal no momento da aplicação dos herbicidas pré-emergentes exerceu influência significativa sobre múltiplos processos relacionados à dinâmica dos herbicidas no sistema solo-palha-planta daninha. A presença de palha verde, caracterizada por maior acúmulo de biomassa devido ao atraso na dessecação, resultou em maior interceptação da calda e menor concentração de herbicidas no solo nas avaliações iniciais, especialmente para compostos com elevada afinidade à matéria orgânica, como o S-metolachlor. No entanto, mesmo com a redução na concentração, a eficácia de controle não foi comprometida para os herbicidas diclosulam e clomazone, sugerindo efeito aditivo entre o manejo físico da cobertura e a ação química dos pré-emergentes. Esses achados indicam que a integração entre características físico-químicas dos herbicidas e o manejo da palha pode modificar significativamente a eficiência de controle de plantas daninhas em sistemas de plantio direto, especialmente em cenários de variabilidade climática entre safras.

A seguir, os resultados são apresentados em tópicos específicos, organizados para discutir desde a interceptação da pulverização até os impactos no controle de plantas daninhas.

4.1 INTERCPTAÇÃO PELA PALHA NO MOMENTO DE APLICAÇÃO

Inicialmente, observou-se que a densidade de gotas depositadas na superfície da palha variou substancialmente entre as safras, com valores médios mais baixos em 2024/25 (Figuras 3a e 3b). Não foram detectadas diferenças estatisticamente significativas entre os tipos de palha dentro de cada safra, nem interação entre herbicidas e palha para essa variável. Por outro lado, a porcentagem de cobertura da pulverização apresentou diferenças significativas entre os manejos, além de interação entre os fatores na safra 2023/24. Nesse ano, o sistema de plantio direto sobre palha seca resultou em maior porcentagem de cobertura (Figura 3c), enquanto o herbicida S-metolachlor apresentou menor cobertura quando aplicado sobre palha verde. Esses padrões estão diretamente relacionados ao maior acúmulo de biomassa observado na palha verde.

Figura 3 - Densidade de gotas depositadas (gotas cm^{-2}) (a e b) e porcentagem de cobertura da pulverização (%) (c e d) sobre palha seca ou verde, nos anos agrícolas de 2023/24 e 2024/25.

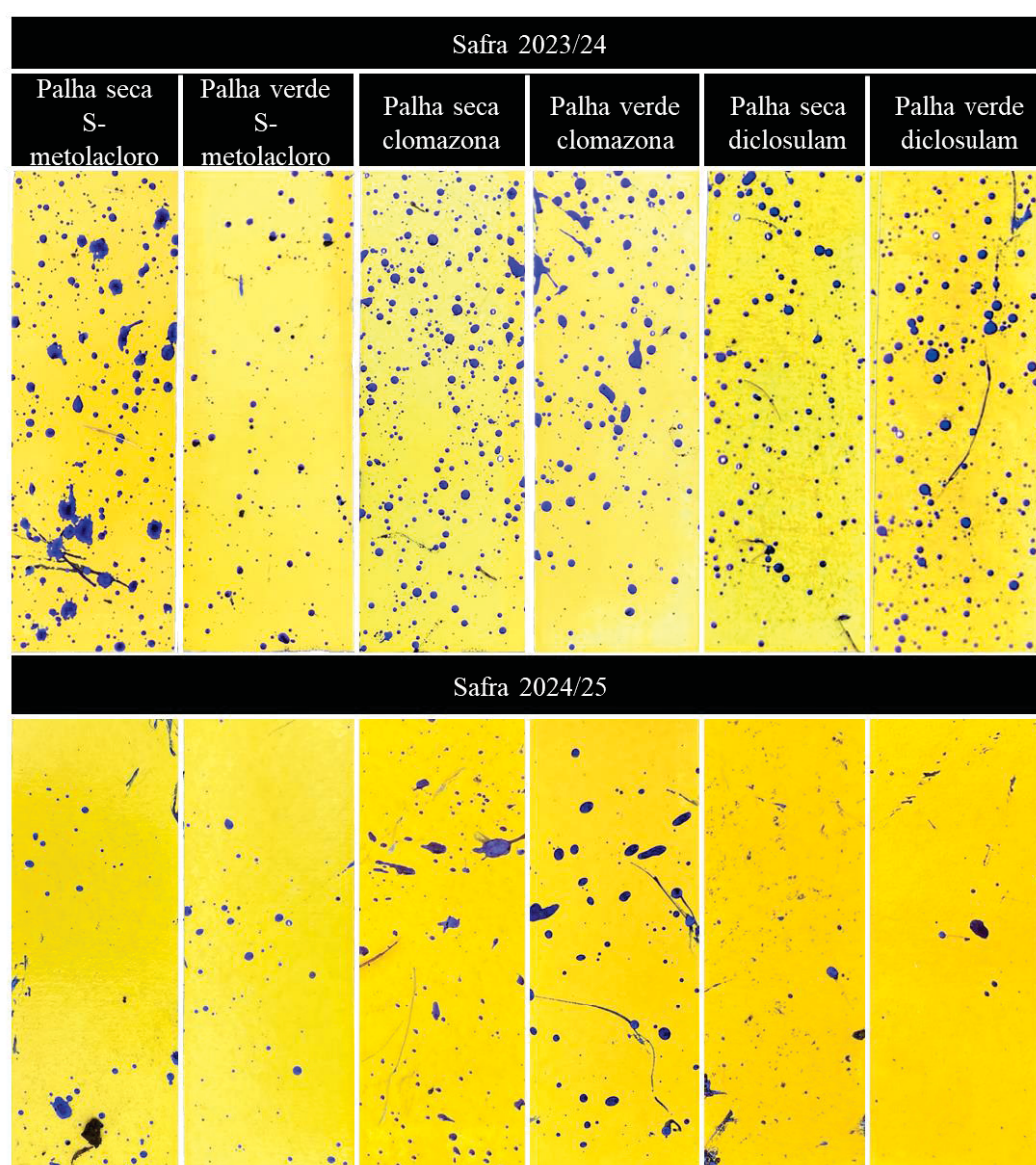


Cada ponto representa um valor individual de um dos três herbicidas aplicados: S-metolachlor (asterisco verde), clomazone (losango laranja) e diclosulam (círculo roxo). As letras sobre as caixas indicam diferenças estatísticas significativas entre os sistemas de manejo (teste de Tukey, $\alpha = 0,05$). ns = não significativo.

Resultados de estudos anteriores apontam para uma correlação negativa entre a biomassa aérea da cobertura vegetal presente no momento da aplicação e as variáveis relacionadas à interceptação de calda, indicando que quanto maior a massa, menor a porcentagem de herbicidas que atingem o solo no momento de aplicação (NUNES et al., 2023a). Esses dados corroboram os resultados da safra 2024/25, na qual, devido ao maior acúmulo de massa fresca e seca, foram observadas menores porcentagens de cobertura no solo (Figura 4). Esses achados reforçam a hipótese de que a palha verde, por apresentar maior

biomassa e estrutura mais densa, funciona como uma barreira física, reduzindo a penetração das gotas até o solo e aumenta a interceptação da calda do herbicida no momento da aplicação. Em ambas as safras, foram mantidos constantes o tipo de bico, a altura e a velocidade de pulverização; as variáveis que apresentaram variações foram as condições climáticas (temperatura e umidade) e a quantidade de biomassa presente no momento da aplicação durante as safras.

Figura 4 - Imagens dos papéis hidrossensíveis logo após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes sobre palha seca ou verde, nas safras de 2023/24 e 2024/25.



Fonte: o autor, 2023 e 2024.

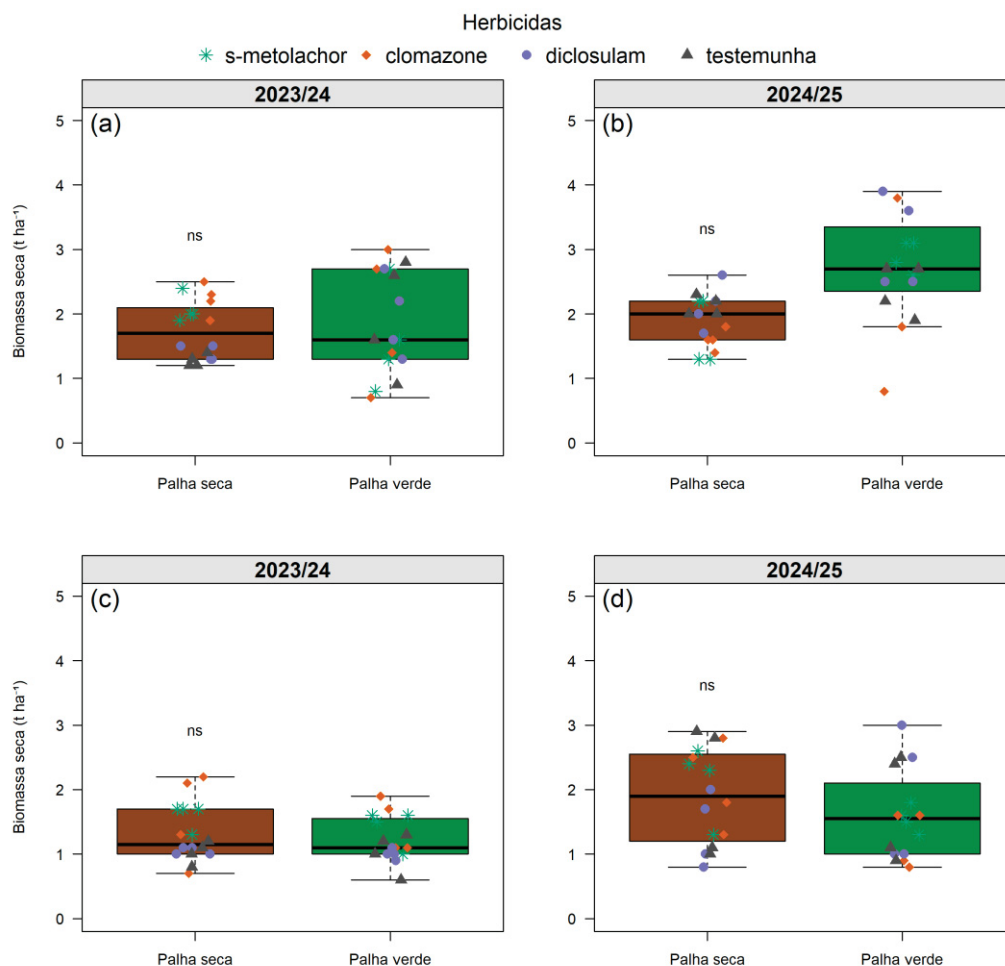
Estudos mostram que a densidade de gotas não apresentou correlação com a concentração de herbicidas como S-metolachlor e sulfentrazone no solo (NUNES et al., 2023a).

Assim como, trabalhos avaliando o controle de plantas daninhas na cultura da soja com herbicidas pré-emergentes, observou-se que a eficácia do herbicida pré emergentes não foi afetada pela densidade de gotas nem pela porcentagem de cobertura (FERREIRA et al., 2019). Além disso, os autores relataram que o tamanho das gotas não comprometeu a eficácia do herbicida, independentemente de suas propriedades físico-químicas, como adsorção, volatilidade e solubilidade (FERREIRA et al., 2019). Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que o herbicida retido na cobertura vegetal ainda pode alcançar o solo após a aplicação, principalmente por meio da ocorrência de chuvas e/ou irrigações, que promovem esse deslocamento.

4.2 DECOMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DE PALHA VERDE E SECA APÓS A APLICAÇÃO DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES

A análise da massa seca remanescente da cobertura vegetal aos 14 e 28 dias após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes indicou ausência de diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, os tipos de palha (seca e verde) interação entre os fatores (palha e herbicida) e os anos agrícolas (Figura 5). Essa estabilidade na quantidade de palha ao longo do tempo sugere que a aplicação dos herbicidas, independentemente da cobertura, não afetou de forma relevante a taxa de decomposição da biomassa no curto prazo. Embora visualmente se observem variações nos valores médios entre os tratamentos e entre os anos agrícolas, essas variações não foram suficientes para caracterizar diferenças consistentes com base na análise estatística. Os resultados sugerem que os produtos utilizados não afetaram de forma significativa a decomposição ou persistência da palha no curto prazo (28 dias). Isso é positivo do ponto de vista agrônomo, pois indica que a cobertura vegetal continua exercendo seu papel de proteção do solo e supressão de plantas daninhas sem degradação acelerada. A manutenção da massa pode favorecer a sustentabilidade do sistema e a eficiência do manejo integrado de plantas daninhas (POFFENBARGER et al. 2015; FICKS et al. 2023).

Figura 5 - Massa seca (t ha^{-1}) aos 14 dias (a e b) e 28 dias (c e d) após a aplicação de herbicidas pré-emergentes sobre palha seca ou verde, nos anos agrícolas de 2023/24 e 2024/25.



Cada ponto representa um valor individual de um dos três herbicidas aplicados: S-metolachlor (asterisco verde), clomazone (losango laranja), diclosulam (círculo roxo) e testemunha (triângulo cinza). As letras sobre as caixas indicam diferenças estatísticas significativas entre os sistemas de manejo (teste de Tukey, $\alpha = 0,05$). ns = não significativo.

A perda média de massa dos resíduos da cobertura vegetal variou de 35 a 45% na palha seca e de 37 a 55% na palha verde aos 14 dias de avaliação, com maior decomposição observada na safra 2024/25. Na avaliação realizada aos 28 dias, a decomposição variou de 46 a 51% na palha seca e de 59 a 74% na palha verde, sendo observada maior decomposição na palha seca durante a safra 2023/24 e na palha verde na safra 2024/25. A decomposição mais acelerada da palha verde pode estar associada ao maior acúmulo de folhas, observado nas áreas com plantio no verde em comparação àquelas com palha seca (dados não mostrados). As folhas de aveia possuem uma relação C/N baixa em comparação aos colmos (FANG et al., 2025), o que

favorece uma decomposição mais rápida (POFFENBARGER et al., 2015; THAPA et al., 2022). Esse fato explica a ausência de diferença estatística entre os tipos de palha (seca e verde) nas avaliações de 14 e 28 dias, ao contrário do que foi observado no momento da aplicação. Visualmente as palhas do plantio no verde e em palha seca para todos os herbicidas nos dois anos apresentavam baixas quantidades de folhas nas avaliações após a aplicação dos herbicidas (dados não mostrados). A maior taxa de decomposição observada na safra 2024/25 pode também estar relacionada à maior proporção de folhas, já que na safra 2023/24, mesmo a palha verde apresentava poucas folhas por estar no final do ciclo da cultura.

4.3 CONCENTRAÇÃO DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NO SOLO SOB PALHA VERDE E SECA

A chegada dos herbicidas pré-emergentes ao solo após a aplicação em cobertura vegetal é um fator crítico para sua eficácia. Neste estudo, a concentração dos ingredientes ativos foi significativamente influenciada pelo manejo da palha presente no momento da aplicação, especialmente nos primeiros 14 dias após a aplicação (Tabela 5). No manejo em palha seca, caracterizado por menor acúmulo de biomassa, observou-se maior quantidade de ingrediente ativo no solo para todos os herbicidas na safra 2023/24. Resultados semelhantes foram reportados por estudos anteriores que avaliaram a aplicação de herbicidas pré-emergentes sobre palhas secas e verdes (NUNES et al., 2023a; SILVA, 2016; MACEDO et al., 2020).

Tabela 5 - Concentração de herbicidas pré emergentes no solo após aplicação em palha seca ou verde (ng/g de solo) aos 14 e 28 dias após a aplicação.

Tratamentos	Safra 23/24		Safra 24/25	
	Palha seca	Palha verde	Palha seca	Palha verde
Avaliação 14 dias após a aplicação (ng/g de solo)				
S-metolachlor	2,19 ($\pm 0,16$) a	1,01 ($\pm 0,17$) b	6,41 ($\pm 1,61$) a	4,21 ($\pm 1,22$) b
Clomazone	2,02 ($\pm 0,27$) a	0,80 ($\pm 0,03$) b	7,42 ($\pm 0,97$) ns	
Diclosulam	1,17 ($\pm 0,05$) a	0,69 ($\pm 0,06$) b	0,73 ($\pm 0,06$) b	1,11 ($\pm 0,17$) a
Avaliação 28 dias após a aplicação (ng/g de solo)				
S-metolachlor	0,59 ($\pm 0,07$) ns		3,91 ($\pm 0,86$) ns	
Clomazone	0,16 ($\pm 0,03$) ns		7,90 ($\pm 2,26$) a	2,29 ($\pm 0,39$) b
Diclosulam	0,29 ($\pm 0,01$) ns		0,73 ($\pm 0,10$) ns	

Valores entre parênteses indicam o erro padrão da média. Letras diferentes na mesma linha horizontal indicam diferença estatística significativa entre os tipos de palha para cada herbicida dentro de uma safra pelo teste de Tukey, ($p \leq 0,05$). ns = não significativo.

Diversos fatores podem influenciar a concentração e o transporte dos herbicidas da palha até o solo, incluindo o momento e a dose de aplicação, o tipo e a quantidade de cobertura vegetal, a intensidade/quantidade de precipitação, assim como as propriedades físico-químicas do produto e do solo (SANTOS et al., 2024). No presente estudo, alguns desses fatores apresentaram menor importância na concentração final de herbicida. Como o momento da aplicação, uma vez que em ambos os anos os herbicidas foram aplicados no sistema “plante e aplique”; a dose utilizada, que foi mantida constante entre os tratamentos com palha seca e verde e entre os anos; o tipo de cultura de cobertura; propriedades físico-químicas do solo, já que as duas áreas experimentais apresentavam condições bastante similares. Por outro lado, alguns fatores demonstraram influência significativa sobre a concentração dos herbicidas no solo, como a quantidade de palha (BANKS e ROBINSON, 1982; MACEDO et al., 2020; NUNES et al. 2023b), as propriedades físico-químicas dos herbicidas (KHALIL et al., 2019) e a ocorrência de precipitação após a aplicação (SILVA, 2016; MACEDO et al., 2020). A seguir, discutem-se em detalhes os possíveis efeitos desses fatores sobre a dinâmica dos herbicidas no solo e na palha.

A quantidade de massa da cultura de cobertura é o principal fator que influencia a concentração de herbicidas no solo imediatamente após a aplicação (NUNES et al., 2023a; NUNES et al., 2023b). Em estudo anterior que avaliou diferentes métodos de semeadura da soja incluindo o plantio sobre cobertura viva e o plantio direto sobre resíduos da cultura anterior, foi observada correlação negativa significativa entre o aumento da biomassa e a redução da concentração do herbicida S-metolachlor (NUNES et al., 2023a). De forma semelhante, os resultados do presente estudo também indicam maior concentração de S-metolachlor nas condições com menor acúmulo de palha, caracterizadas neste estudo como palha seca.

As propriedades físico-químicas dos herbicidas e a ocorrência de precipitação estão entre os principais fatores que influenciam no transporte dos produtos da palha para o solo (SILVA et al., 2016; MACEDO et al., 2020). Vale destacar que a literatura aponta que apenas uma fração do herbicida interceptado pela palha, seja ela seca ou verde é efetivamente liberada para o solo (NUNES et al., 2023b, MACEDO et al., 2020). Em estudos anteriores, ao comparar a retenção de herbicidas aplicados sobre palha verde com o preparo convencional do solo, observou-se que o S-metolachlor apresentou maior retenção superficial em relação ao sulfentrazone pela palha verde (NUNES et al., 2023a). Esse comportamento foi atribuído à maior pressão de vapor e à suscetibilidade à fotodegradação do S-metolachlor, além da elevada sorção à biomassa e ao solo, expressa pelos maiores valores de K_{ow} e K_{oc} , características que favorecem tanto sua retenção quanto sua degradação na superfície da palha (NUNES et al.,

2023a).

No presente estudo, a comparação entre palha seca e palha verde revelou que o S-metolachlor foi o único herbicida que apresentou diferença estatisticamente significativa em ambas as safras quanto à retenção na palha verde, com valores 53% na safra 2023/24 e 34% na safra 2024/25 em relação à palha seca, considerando a avaliação realizada 14 dias após a aplicação. Para o clomazone, observou-se maior transporte na palha seca em comparação à palha verde, com diferença de 60% na safra 2023/24. O diclosulam, por sua vez, apresentou diferença de 41% na mesma safra. A maior retenção do clomazone e do S-metolachlor, em comparação ao diclosulam, pode estar associada aos seus elevados valores de K_{ow} para o clomazone ($\log 2,58$) e o S-metolachlor ($\log 3,05$), em contraste com o valor mais baixo para o diclosulam ($\log 0,85$).

Quanto à dificuldade de transposição da palha, os valores de K_{oc} indicam que o clomazone (300 mL g^{-1}) e o S-metolachlor (200 mL g^{-1}) apresentam, respectivamente, capacidades de retenção 3,3 e 2,2 vezes maiores que o diclosulam (90 mL g^{-1}), sugerindo maior retenção desses herbicidas na cobertura vegetal. Outro ponto relevante a ser destacado é que o S-metolachlor e o clomazone apresentam pressões de vapor mais elevadas (3,7 e 27,0 mPa, respectivamente) em comparação ao diclosulam ($6,67 \times 10^{-10} \text{ mPa}$), o que indica maior potencial de volatilização para os dois primeiros. Além disso, tanto o clomazone quanto o S-metolachlor são suscetíveis à fotodegradação, enquanto para o diclosulam esse processo é considerado insignificante (DIMOU et al., 2005; CAO et al., 2013; RAO et al., 2020). Vale ressaltar que a formulação encapsulada do clomazone (como o Reator[®]) utilizada nesse estudo apresenta menor volatilização em comparação à formulação convencional, devido à liberação controlada do ingrediente ativo (SCHREIBER et al., 2015). Dessa forma, tanto a pressão de vapor quanto a fotodegradação podem ter contribuído para maiores perdas de S-metolachlor e clomazone antes da ocorrência da primeira chuva, especialmente na safra 2023/24 onde a primeira chuva foi ocorrer 4 dias depois da aplicação (Figura 1). Considerando essas características físico-químicas, é possível que o diclosulam tenha sido menos retido na palha e também menos afetado por perdas, apresentando maior facilidade de transpor a palha seca ou verde.

A maior capacidade do diclosulam de transpor a cobertura vegetal pode ter contribuído para a maior concentração registrada na palha verde em relação à palha seca na safra 2024/25. O diclosulam é um ácido fraco cuja solubilidade em água dependem do pH. Sua solubilidade varia de aproximadamente 100 mg kg^{-1} em pH entre 5 e 7 a valores superiores a 4.000 mg kg^{-1} em pH 9. Seu pK_a é de 4,09 a 20 °C, o que indica a predominância da forma aniônica em pH

mais elevados (LAVORENTI et al., 2003). Assim, a elevada solubilidade em pH alcalino pode ter favorecido o transporte do diclosulam para o solo, especialmente considerando a ocorrência de precipitação significativa no primeiro dia após a aplicação. Além disso, o teor de umidade é apontado como um dos principais fatores que influenciam a adsorção do diclosulam à matéria orgânica (MATTE et al., 2019).

No entanto, é importante ressaltar que a interpretação do comportamento dos herbicidas com base apenas na solubilidade apresenta limitações, uma vez que, neste estudo não foi mensurado o pH da biomassa da cobertura, apenas o pH da calda de pulverização que foi de 4,40. Esses parâmetros podem afetar as propriedades e, consequentemente, o destino do herbicida (NUNES et al., 2023a). Outra hipótese é que o diclosulam tenha sido transportado da palha verde com a precipitação de 51 mm observada da aplicação até a avaliação de 14 dias. Essa possibilidade é coerente com resultados de estudos anteriores, que demonstraram aumento na concentração de pré-emergente no solo aplicado em palha verde ao longo do tempo, onde a avaliação de 31 dias após a aplicação apresentou maior concentração do que um dia após a aplicação (MACEDO et al., 2020). Segundo os autores, a maior quantidade de pré-emergente inicialmente retida na massa da cobertura vegetal foi gradualmente transportada para o solo após um período de um mês e acumulado de 90 mm de precipitação (MACEDO et al., 2020).

Na safra 2024/25, uma precipitação de 12,43 mm foi registrada no primeiro dia após a aplicação dos herbicidas, o que possivelmente favoreceu o transporte precoce dos produtos para o solo (Figura 1). Em estudo que avaliou a aplicação de herbicidas sobre palha seca e úmida de cana-de-açúcar, observou-se que nas condições de palha úmida, a movimentação dos herbicidas no perfil do solo foi significativamente maior em comparação à palha seca, independentemente da intensidade da precipitação uma hora após a aplicação dos herbicidas (SANTOS et al., 2024). Para o S-metolachlor, por exemplo, foi registrado um deslocamento de 27% sob palha úmida e de 22% sob palha seca (SANTOS et al., 2024). No presente estudo, na safra 2024/25, tanto a palha seca quanto a verde apresentavam maior umidade em comparação à safra 2023/24, fato evidenciado pela diferença entre a massa fresca e seca da biomassa. Esse fator pode ter contribuído para as maiores concentrações de herbicidas detectadas no solo durante a safra 2024/25.

Estudos anteriores indicaram que, entre as variáveis avaliadas no plantio direto com dessecação precoce e no plantio no verde, a precipitação foi o principal fator responsável pelo aumento da concentração de flumioxazina no solo aos 21 dias após a aplicação (NUNES et al., 2023b). O primeiro evento de chuva após a aplicação é considerado determinante para a movimentação dos herbicidas através da palha (CARBONARI et al., 2016). Os primeiros 40

mm de precipitação foram os mais importantes para promover o transporte do herbicida diclosulam na palha de diferentes coberturas, seja seca ou verde para o solo (SILVA, 2016). No entanto, mesmo sob condições de precipitação semelhantes, o maior transporte do diclosulam foi em palha seca (SILVA, 2016). No presente estudo, apenas na safra 2023/24 foi registrado um volume acumulado superior a 40 mm de precipitação nos primeiros sete dias após a aplicação. Esse fato sugere que, na safra 2024/25, a primeira chuva, apesar de menos volumosa, foi a principal responsável pelo transporte dos herbicidas para o solo, influenciando diretamente sua disponibilidade nas camadas superficiais logo após a aplicação.

Estudos que compararam as formulações encapsulada e convencional do clomazone observaram que, sob 10 t ha^{-1} de palha de cana-de-açúcar, 30 mm de precipitação foram suficientes para transportar o clomazone encapsulado para o solo, enquanto a formulação convencional exigiu cerca de 60 mm (TROPALDI et al., 2021). A formulação convencional apresenta perdas elevadas por volatilização já a encapsulada a liberação é mais lenta (SCHREIBER et al., 2015; TROPALDI et al., 2021). A formulação utilizada pode influenciar a dinâmica de transporte do herbicida através da palha seca ou verde de aveia. Embora em nenhum dos anos tenha ocorrido precipitação igual ou superior a 30 mm nas primeiras horas após a aplicação, esse volume foi alcançado em ambos os anos até o momento da avaliação aos 14 dias após a aplicação.

Estudos anteriores avaliando a dissipação do S-metolachlor nos resíduos de cobertura morta foi mais rápida sob regime de chuvas leves e frequentes (2 mm, duas vezes por semana, totalizando 16 mm/mês) em comparação com chuvas fortes e infrequentes (8 mm, duas vezes no mês, também totalizando 16 mm/mês) (ASLAM et al., 2014). Ainda assim, mais de 50% do herbicida permaneceu retido na palha mesmo após a aplicação dessas precipitações (ASLAM et al., 2014). Em outro estudo com S-metolachlor, observou-se que volumes de precipitação de até 50 mm promoveram aumento no movimento do herbicida, proporcional ao incremento da chuva, no entanto o intervalo de 50 mm a 100 mm, não foram verificadas diferenças significativas no deslocamento do produto através da palha de cana-de-açúcar (SANTOS et al., 2024). No presente experimento, em ambos os anos, os volumes acumulados de precipitação situaram-se dentro desse intervalo nos primeiros 28 dias após a aplicação, o que reforça a hipótese de que a precipitação não foi o principal fator determinante da concentração de S-metolachlor no solo, diferentemente dos outros herbicidas.

Os resultados obtidos na avaliação realizada 28 dias após a aplicação, que não apresentaram diferença estatística entre os tipos de palha, vão ao encontro de achados de pesquisas anteriores (NUNES et al., 2023b; MACEDO et al. 2020). Estudos indicam que a

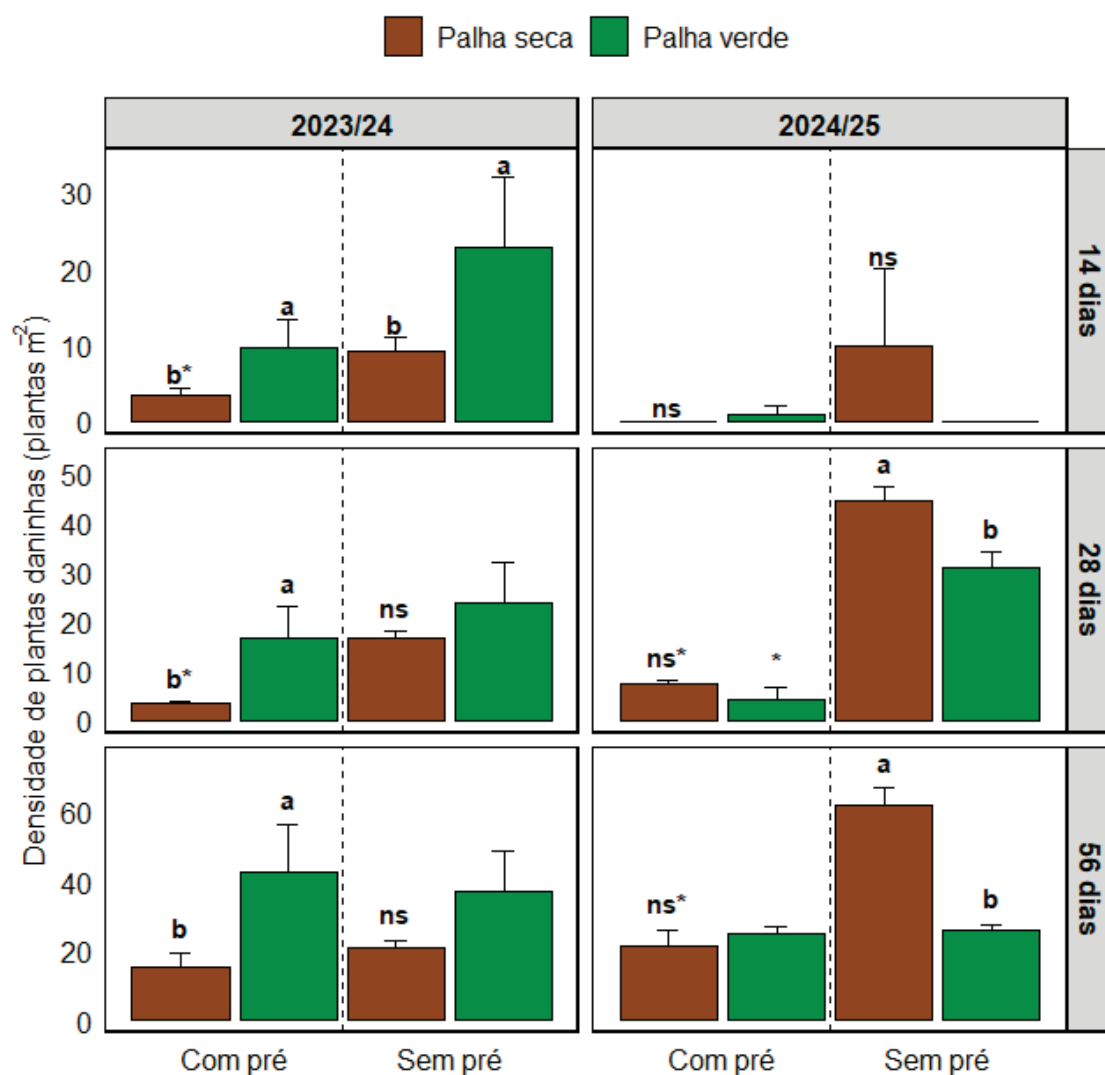
aplicação de herbicidas pré-emergentes sobre palha seca ou verde não resultou em diferenças significativas na concentração dos produtos no solo aos 21 dias após o plantio, porém diferenças estatísticas foram observadas em alguns locais nas avaliações realizadas aos 0 e 7 dias após a aplicação (NUNES et al., 2023b).

4.4 EFICÁCIA DE CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS POR HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES SOB PALHA VERDE E SECA

A eficácia do controle de plantas daninhas está diretamente ligada à quantidade de ingrediente ativo disponível no solo após a aplicação dos herbicidas. Nesse contexto, as diferenças na concentração dos produtos observadas entre os tipos de palha refletiram-se, em parte, nos níveis de controle obtidos. Os resultados apresentados a seguir exploram essa relação, evidenciando como o manejo da palha, o herbicida utilizado e as características das espécies daninhas influenciaram o desempenho dos tratamentos ao longo das duas safras.

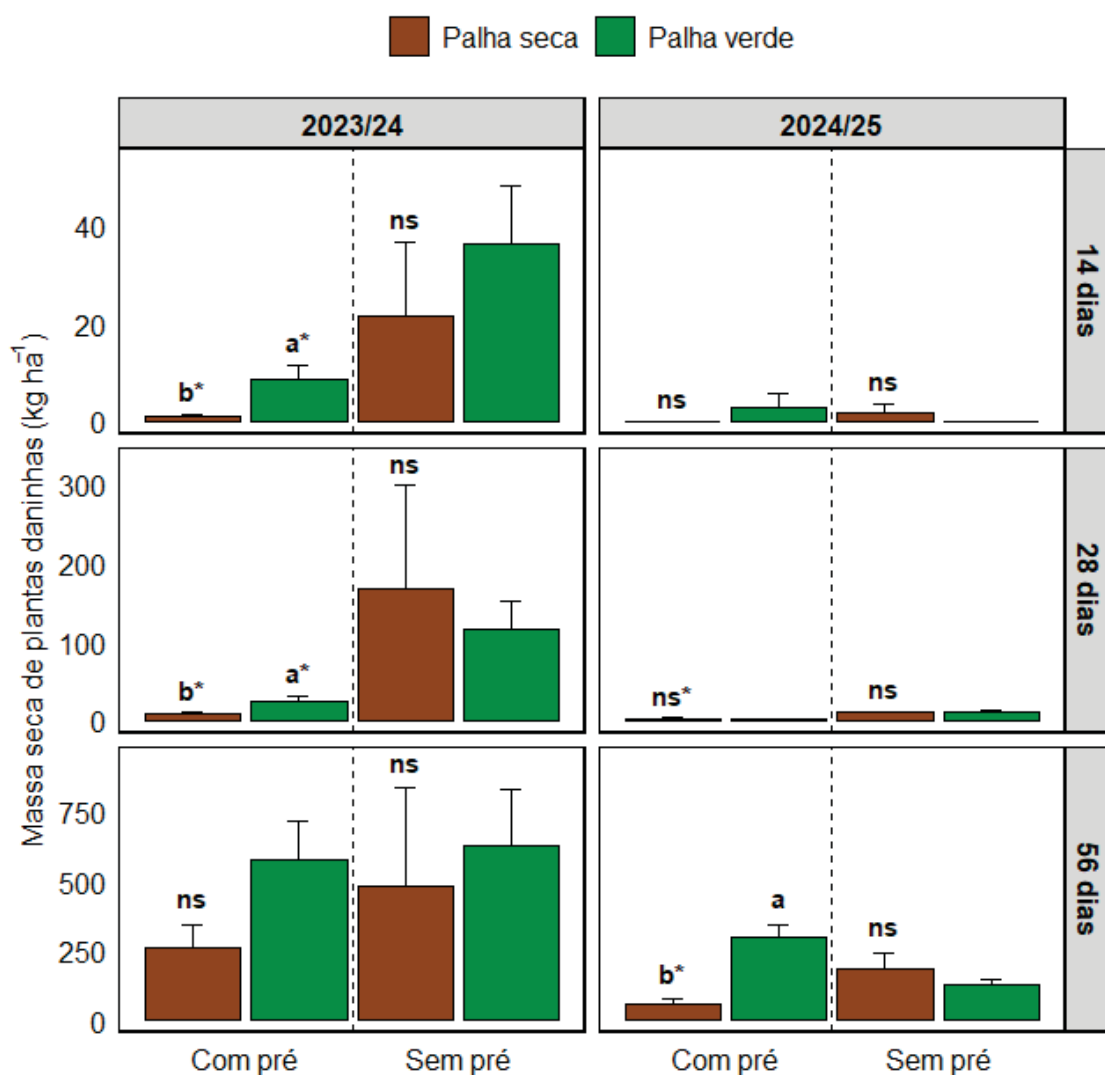
O S-metolachlor foi o herbicida que apresentou a maior diferença de controle entre as aplicações sobre palha verde e palha seca (Figura 6 e 7). No primeiro ano, a aplicação sobre palha seca resultou em maior controle de plantas daninhas, principalmente devido à maior concentração de herbicida no solo. A diferença entre os tipos de palha para aplicação do S-metolachlor foi mais expressiva na safra 2023/24, quando a diferença de concentração entre as coberturas atingiu 53%, em comparação a 34% na safra 2024/25. Resultados de estudos anteriores com o S-metolachlor também apontam que a presença de cobertura vegetal pode reduzir a eficácia do herbicida, sugerindo um possível antagonismo entre a palha e a combinação de S-metolachlor com glyphosate (DUQUE et al., 2023). De forma geral, mesmo com a menor eficiência observada em palha verde, o S-metolachlor proporcionou melhor controle de plantas daninhas quando comparado ao efeito isolado da palha (testemunha sem aplicação do pré-emergente). Esses resultados reforçam a importância da utilização de herbicidas pré-emergentes em sistemas com plantio no verde, mesmo diante da redução na concentração do produto no solo. Futuros trabalhos precisam investigar a relação entre a dose aplicada e a situação da cobertura, bem como já ocorre em algumas situações para a textura do solo.

Figura 6 - Densidade de plantas daninhas (*Urochloa* spp., *Richardia brasiliensis*), após a aplicação de S-metolachlor aos 14, 28 e 56 dias nas safras 2023/24 e 2024/25.



Letras diferentes, nas variáveis com aplicação e sem aplicação de pré-emergentes em uma mesma época de avaliação e ano, indicam diferença estatística significativa entre os tipos de palha para o herbicida S-metolachlor, segundo o teste de Holm-Bonferroni ($p \leq 0,05$). ns = diferença não significativa entre os tipos de palha. *Indica diferença estatística significativa entre a aplicação de pré-emergente e a testemunha sem aplicação, dentro da mesma condição de palha ($p \leq 0,05$).

Figura 7 - Massa seca de plantas daninhas (*Urochloa* spp., *Richardia brasiliensis*) após a aplicação de S-metolachlor aos 14, 28 e 56 dias, nas safras 2023/24 e 2024/25.

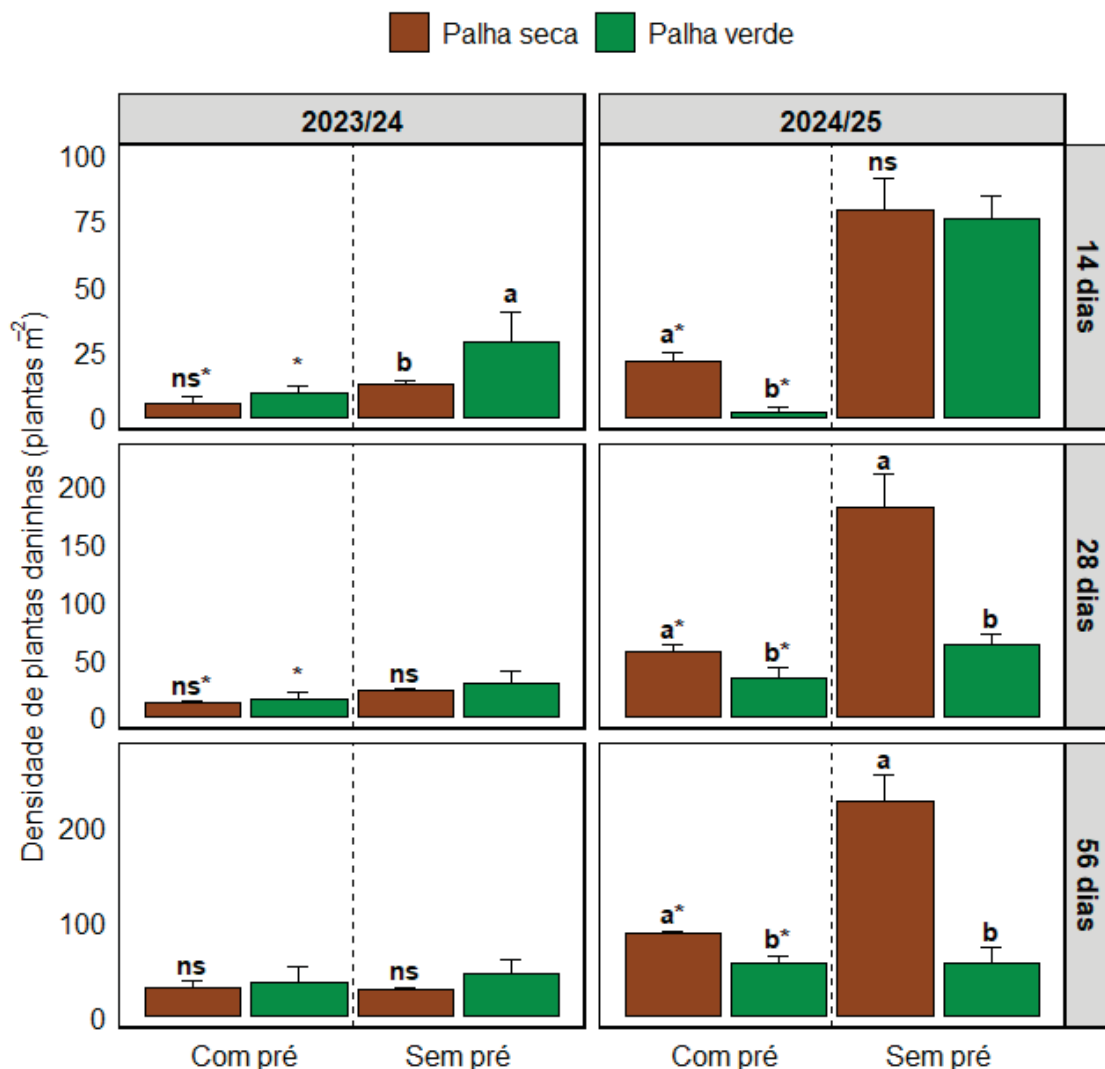


Letras diferentes, nas variáveis com aplicação e sem aplicação de pré-emergentes em uma mesma época de avaliação e ano, indicam diferença estatística significativa entre os tipos de palha para o herbicida S-metolachlor, segundo o teste de Holm-Bonferroni ($p \leq 0,05$). ns = diferença não significativa entre os tipos de palha. *Indica diferença estatística significativa entre a aplicação de pré-emergente e a testemunha sem aplicação, dentro da mesma condição de palha ($p \leq 0,05$).

O herbicida clomazone, quando aplicado sobre palha verde, não apresentou desempenho inferior ao observado na aplicação sobre palha seca no controle de plantas daninhas (Figura 8 e 9). Em algumas situações, como na densidade de plantas daninhas nas avaliações da safra 2024/25 e na massa seca aos 56 dias após a aplicação para safra 2023/24, observou-se maior supressão quando o herbicida foi aplicado sobre a palha verde. Esses resultados possivelmente

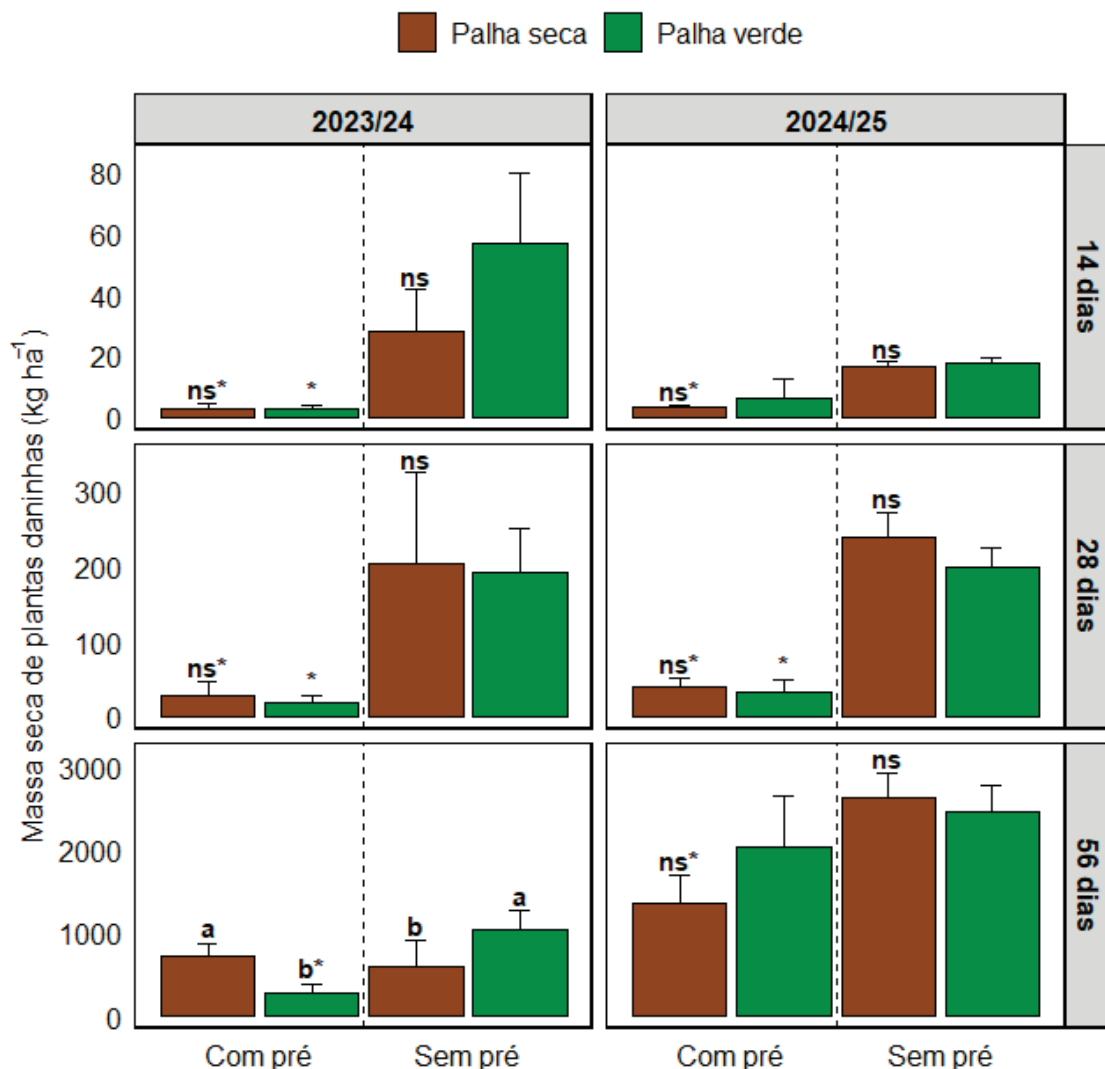
estão relacionados ao efeito aditivo entre os dois mecanismos de controle: o efeito da palha e o controle químico promovido pelo herbicida (NUNES et al., 2023b; FICKS et al., 2023; CHUDZIK et al., 2025). Estudos anteriores demonstraram que a formulação encapsulada de clomazone apresentou melhor desempenho no controle de *Ipomoea nil* e *Urochloa decumbens* sob condições menos favoráveis à eficácia de herbicidas, como baixa umidade do solo, presença de palha e precipitações limitadas, quando comparada à formulação convencional (TROPALDI et al., 2019). No presente estudo, a formulação encapsulada pode ter contribuído para os resultados obtidos, especialmente em função das condições de presença de palha. De modo geral, em grande parte das situações avaliadas, tanto na palha verde quanto na seca, a aplicação de clomazone proporcionou maior supressão de plantas daninhas, em comparação ao efeito isolado da palha (testemunha sem aplicação de herbicida pré-emergente). Resultados semelhantes também foram relatados em estudos, nos quais, mesmo sob presença de palha a aplicação do herbicida contribuiu de forma significativa para o controle de plantas daninhas (TROPALDI et al., 2019).

Figura 8 - Densidade de plantas daninhas (*Urochloa* spp., *Richardia brasiliensis*, *Ipomoea* spp., *Raphanus raphanistrum*, *Bidens* spp.), após a aplicação de clomazone aos 14, 28 e 56 dias, nas safras 2023/24 e 2024/25.



Letras diferentes, nas variáveis com aplicação e sem aplicação de pré-emergentes em uma mesma época de avaliação e ano, indicam diferença estatística significativa entre os tipos de palha para o herbicida clomazone, segundo o teste de Holm-Bonferroni ($p \leq 0,05$). ns = diferença não significativa entre os tipos de palha. *Indica diferença estatística significativa entre a aplicação de pré-emergente e a testemunha sem aplicação, dentro da mesma condição de palha ($p \leq 0,05$).

Figura 9 - Massa seca de plantas daninhas (*Urochloa* spp., *Richardia brasiliensis*, *Ipomoea* spp., *Raphanus raphanistrum*, *Bidens* spp.) após a aplicação de clomazone aos 14, 28 e 56 dias, nas safras 2023/24 e 2024/25.

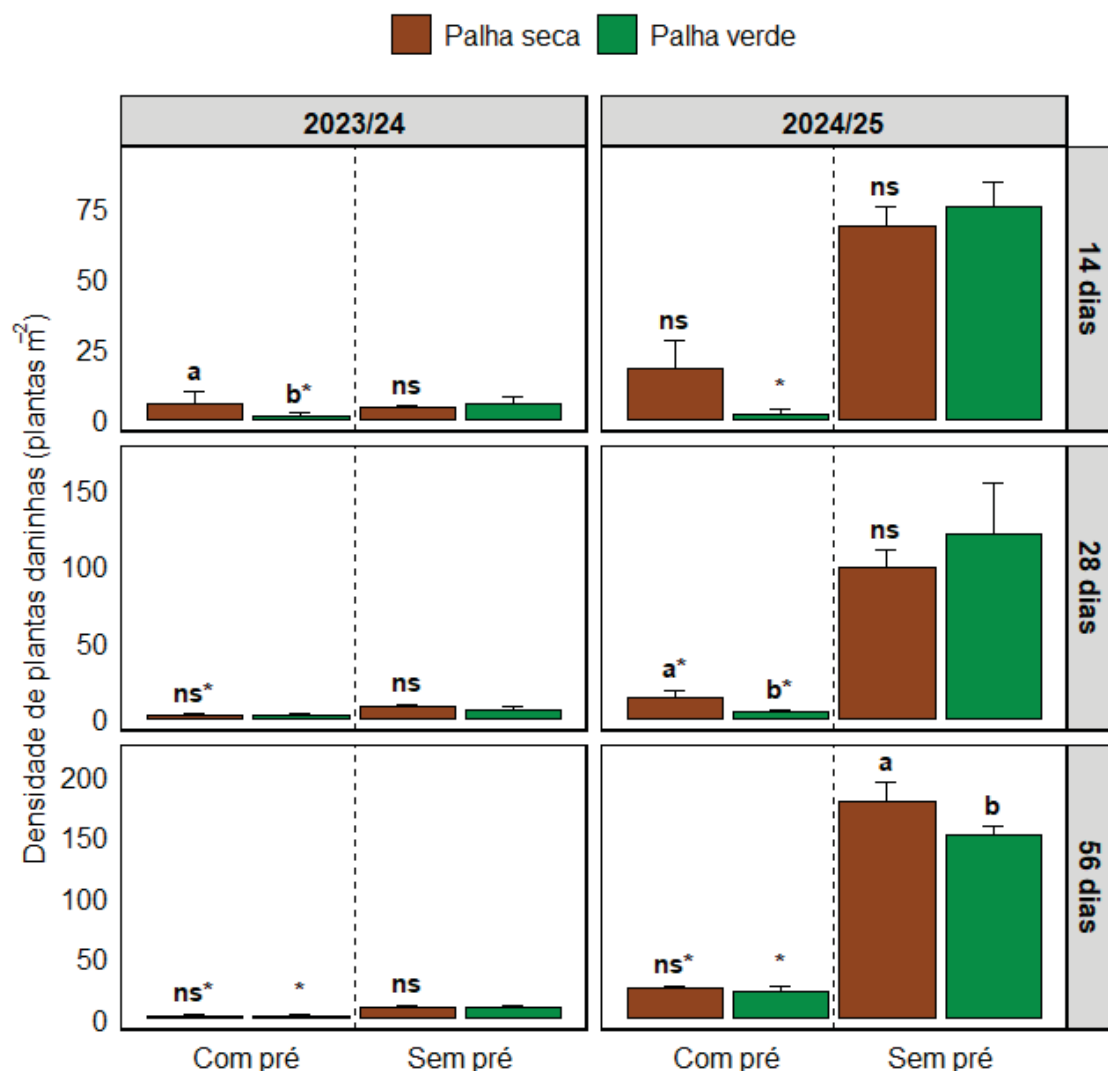


Letras diferentes, nas variáveis com aplicação e sem aplicação de pré-emergentes em uma mesma época de avaliação e ano, indicam diferença estatística significativa entre os tipos de palha para o herbicida clomazone, segundo o teste de Holm-Bonferroni ($p \leq 0,05$). ns = diferença não significativa entre os tipos de palha. *Indica diferença estatística significativa entre a aplicação de pré-emergente e a testemunha sem aplicação, dentro da mesma condição de palha ($p \leq 0,05$).

O herbicida diclosulam foi o que apresentou a maior supressão de plantas daninhas entre os diferentes tipos de palha (Figura 10 e 11). Para as plantas daninhas registradas em bula para o controle com diclosulam a aplicação em palha verde resultou em incremento no controle em algumas situações, sendo que, em outros casos, o desempenho foi semelhante ao observado na

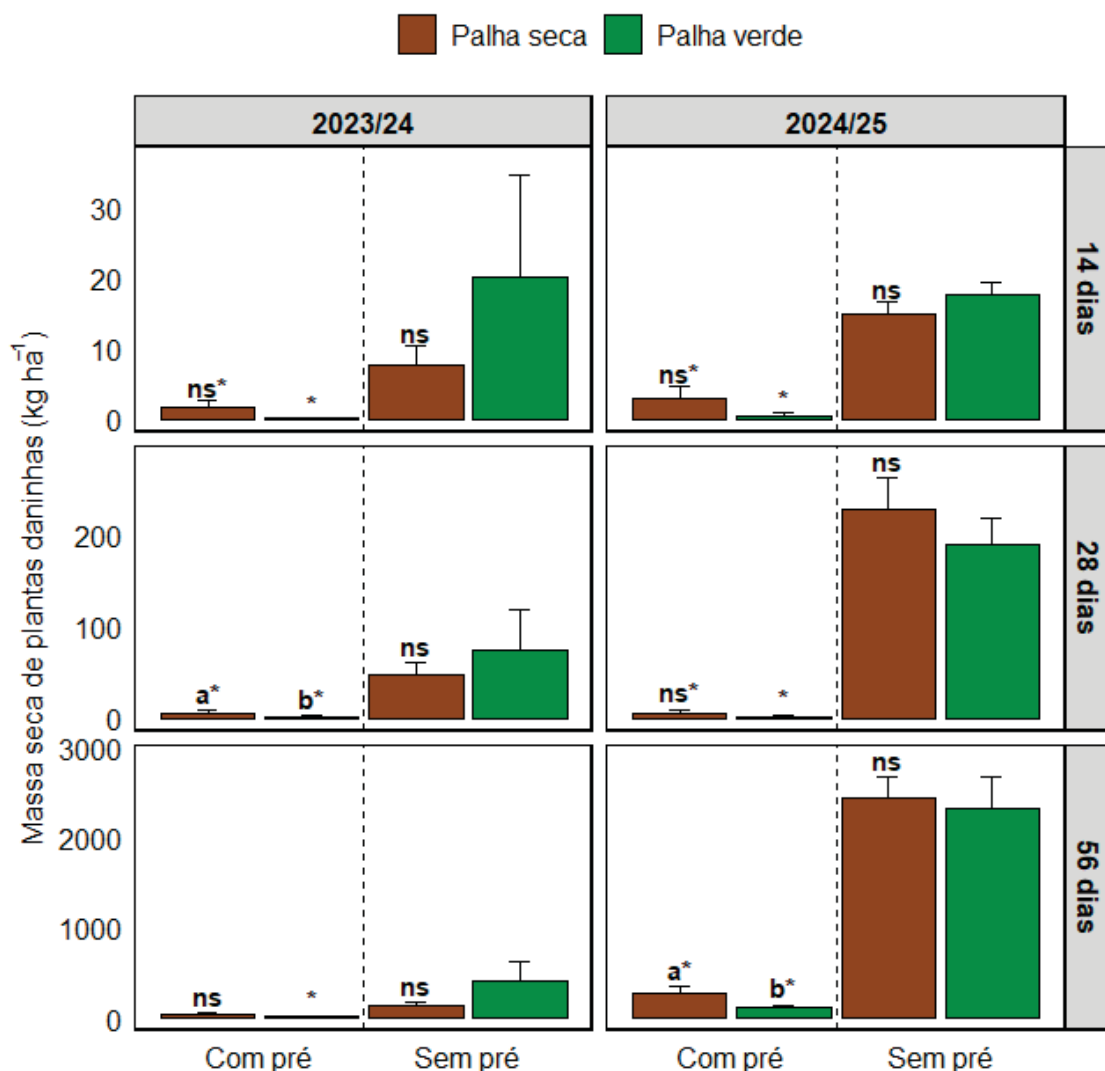
aplicação sobre palha seca. É importante destacar que, em nenhuma avaliação, o desempenho do diclosulam em palha verde foi inferior ao obtido em palha seca para plantas registradas em bula. Esse resultado pode ser atribuído ao efeito aditivo entre o controle físico proporcionado pela palha verde e a ação química do herbicida, mesmo em avaliações mais tardias, como aos 56 dias após a aplicação, refletindo o longo efeito residual do herbicida. Ressalta-se que herbicidas inibidores da ALS, como o diclosulam, requerem doses relativamente baixas para promover efeito fitotóxico em plantas suscetíveis (WHITCOMB, 1999), o que pode explicar as pequenas diferenças entre os tipos de palha, mas a expressiva diferença entre os tratamentos com e sem aplicação do herbicida. De modo geral, o controle com diclosulam foi superior ao obtido apenas com o efeito da palha, reforçando sua importância no manejo químico. Esses resultados são consistentes com estudos anteriores, que avaliaram a aplicação de diclosulam tanto em palha seca quanto em palha verde e constataram que, apesar da redução na concentração do herbicida no solo, o controle de plantas daninhas não diferiu entre as coberturas (SILVA, 2016).

Figura 10 - Densidade de plantas daninhas (*Ipomoea* spp., *Raphanus raphanistrum*, *Bidens* spp. *Euphorbia heterophylla*), após a aplicação de diclosulam aos 14, 28 e 56 dias, nas safras 2023/24 e 2024/25.



Letras diferentes, nas variáveis com aplicação e sem aplicação de pré-emergentes em uma mesma época de avaliação e ano, indicam diferença estatística significativa entre os tipos de palha para o herbicida diclosulam, segundo o teste de Holm-Bonferroni ($p \leq 0,05$). ns = diferença não significativa entre os tipos de palha. *Indica diferença estatística significativa entre a aplicação de pré-emergente e a testemunha sem aplicação, dentro da mesma condição de palha ($p \leq 0,05$).

Figura 11 - Massa seca de plantas daninhas (*Ipomoea* spp., *Raphanus raphanistrum*, *Bidens* spp. *Euphorbia heterophylla*) após aplicação de diclosulam aos 14, 28 e 56 dias, nas safras 2023/24 e 2024/25.



Letras diferentes, nas variáveis com aplicação e sem aplicação de pré-emergentes em uma mesma época de avaliação e ano, indicam diferença estatística significativa entre os tipos de palha para o herbicida diclosulam, segundo o teste de Holm-Bonferroni ($p \leq 0,05$). ns = diferença não significativa entre os tipos de palha. *Indica diferença estatística significativa entre a aplicação de pré-emergente e a testemunha sem aplicação, dentro da mesma condição de palha ($p \leq 0,05$).

Quando observadas maiores reduções na emergência de plantas daninhas em sistemas com palha verde em comparação à palha seca, o principal fator envolvido é a supressão proporcionada pela maior quantidade de biomassa acumulada (NUNES et al., 2024). Estudos de meta-análises indicam que a produção de 5.000 kg ha⁻¹ de biomassa aérea é necessária para

alcançar uma redução de cerca de 75% na biomassa de plantas daninhas (NICHOLS et al., 2020). No presente estudo, o controle de plantas daninhas na palha verde poderia ter sido potencializado com o aumento da quantidade de biomassa, uma vez que não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos com palha seca e verde em relação à massa residual da cobertura durante as avaliações após a aplicação (14 e 28 dias). Além disso, diversos outros fatores podem influenciar a supressão proporcionada pela palha verde, como o tamanho do banco de sementes no solo, as características das espécies daninhas presentes e os efeitos indiretos do plantio no verde sobre as condições climáticas do solo, que podem alterar a dinâmica do banco de sementes e potencializar efeitos alelopáticos da cultura de cobertura (FICKS et al., 2023).

Estudos anteriores demonstraram que o tamanho do banco de sementes influencia os efeitos da biomassa da cultura de cobertura e do momento da dessecação no potencial de supressão de plantas daninhas, com maior supressão relativa observada em situações de baixa densidade do banco de sementes (inferior a 300 sementes m^{-2}) (NORD et al. 2012). Em nosso estudo, ambas as áreas avaliadas apresentaram banco de sementes com densidade inferior a 180 sementes m^{-2} , aos 56 dias após o plantio, indicando que o tamanho do banco teve pouca influência no efeito observado para o sistema de plantio no verde. Além da densidade do banco de sementes, as características das espécies presentes também podem ter desempenhado um papel determinante nos resultados. Espécies de folhas largas com sementes pequenas, por exemplo, tendem a apresentar maior mortalidade de plântulas durante o estabelecimento em presença de cobertura vegetal, quando comparadas a gramíneas anuais de verão (FICKS et al. 2023).

O aumento da biomassa da cultura de cobertura reduz a alocação de recursos para as raízes nas espécies de folhas largas (dicotiledôneas), mas não afeta os padrões de alocação em espécies monocotiledôneas (FICKS et al. 2023). Nas áreas avaliadas, a composição de plantas daninhas incluía gramíneas perenes, como o capim-braquiária (*Urochloa* spp.), além de espécies de folhas largas com sementes grandes, como corda-de-viola (*Ipomoea* spp.), leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), picão-preto (*Bidens* spp.) e nabiça (*Raphanus raphanistrum*), além da presença de tiririca (*Cyperus* spp). Embora estudos anteriores mostrem que a cobertura vegetal, como a palha de cana-de-açúcar, pode reduzir a infestação de plantas daninhas, a eficácia no controle de *Cyperus rotundus* (tiririca) pela palha costuma ser baixo (DURIGAN et al. 2004). A elevada capacidade de adaptação da tiririca em palha pode ter contribuído para o menor efeito aditivo de supressão observado na palha verde durante a safra 2023/24, quando a predominância dessa espécie foi maior em comparação com a safra 2024/25, na qual a

incidência de tiririca foi baixa.

Conforme discutido anteriormente na seção sobre a concentração de herbicidas no solo, o plantio no verde pode reduzir o teor de umidade do solo entre 7% e 24% e diminuir a temperatura em até 0,9 °C, em comparação à dessecação antecipada (REED et al., 2019). Esses fatores podem influenciar diretamente a dormência e a germinação de sementes de plantas daninhas (NICHOLS et al., 2015).

No presente estudo, não foram quantificados os aleloquímicos liberados pelas palhas durante a condução do experimento. No entanto, é amplamente reconhecido na literatura que plantas dessecadas no dia do plantio podem liberar maiores quantidades de compostos aleloquímicos (ALMEIDA et al., 2024). Coberturas vegetais ainda verdes podem produzir e liberar esses compostos no ambiente por diferentes vias, como exsudação radicular, lixiviação e decomposição de resíduos vegetais (ACHARYA e ROBERTSON, 2023). Por outro lado, na palha seca, a liberação de aleloquímicos ocorre apenas por meio da decomposição dos resíduos, o que pode resultar em menores concentrações disponíveis no ambiente em comparação à palha verde (REGINATTO et al., 2020). Além disso, é importante destacar que a produção de aleloquímicos tende a ser maior quanto maior for a quantidade de massa da cultura acumulada.

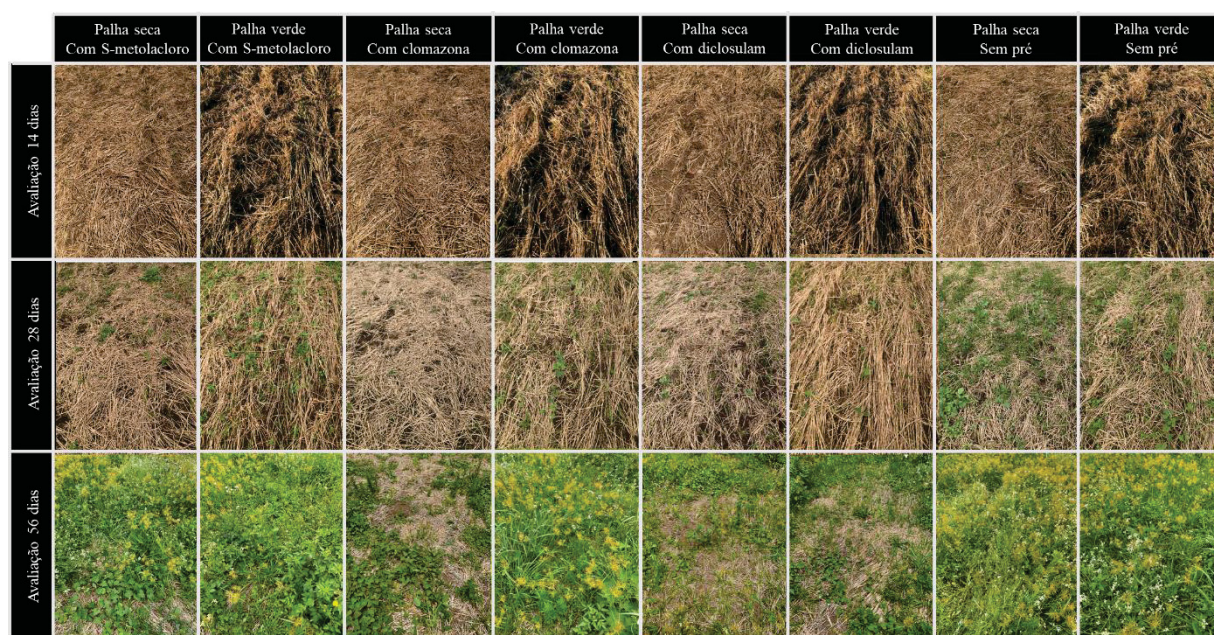
Quando a palha verde apresentou maior quantidade de massa seca e densidade de plantas daninhas, atribuímos ao fator da menor concentração de herbicidas. Alguns trabalhos mencionam que a menor concentração de pré-emergente em plantio no verde pode comprometer o controle de plantas daninhas comparado com a palha seca (MACEDO et al. 2020; NUNES et al. 2023a). Porém maior parte dos trabalhos atribui que mesmo com a redução da concentração do herbicida no solo, a maior quantidade de palha compensa a menor concentração (NUNES et al. 2023b).

Um aspecto importante observado no presente estudo foi a ausência de diferença significativa entre os tipos de palha nas avaliações realizadas aos 14 e 28 dias após a aplicação dos herbicidas, o que sugere que o efeito de supressão da palha sobre as plantas daninhas foi semelhante entre os tratamentos nesses períodos. No entanto, na avaliação realizada no dia do plantio, a palha verde apresentou maior quantidade de massa em comparação aos tratamentos com palha seca. Esse fator pode explicar a ausência de diferença no controle de plantas aos herbicidas nas avaliações de 14 dias, e até mesmo o melhor desempenho observado com a palha verde para alguns herbicidas em algumas situações. Esses resultados estão alinhados com achados de estudos anteriores, os quais demonstraram que a biomassa de culturas de cobertura dessecadas no dia do plantio foi capaz de interceptar parte da flumioxazina e do pyroxasulfone aplicados, reduzindo sua chegada ao solo quando comparado ao plantio direto com dessecação

antecipada, no entanto a presença da biomassa não prejudicou o controle geral de *Amaranthus* spp., e em alguns casos até resultou em melhora no controle da espécie (NUNES et al., 2023b).

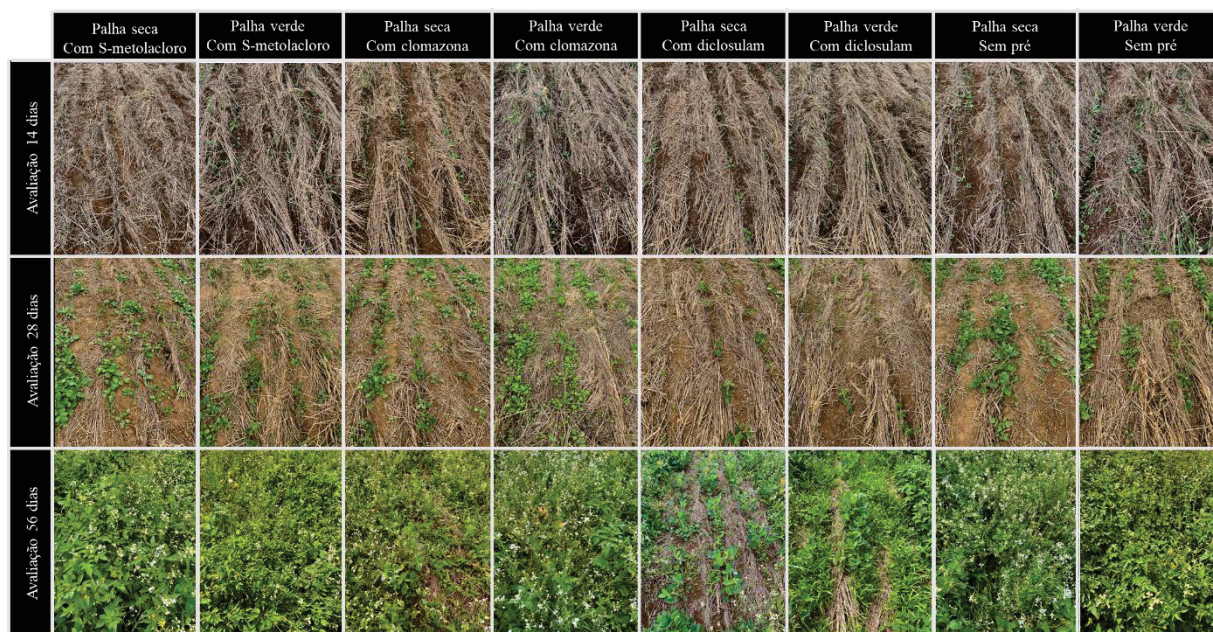
Para melhorar a supressão de plantas daninhas em sistemas de plantio no verde e potencializar o efeito aditivo com a aplicação de herbicidas pré-emergentes, algumas estratégias podem ser adotadas. Entre elas, destacam-se: o aumento da dose do produto comercial, visando maior concentração de herbicida no solo desde que dentro do recomendado na bula; o uso de misturas de ingredientes ativos, ampliando o espectro de controle; o aprimoramento da tecnologia de aplicação; a realização das aplicações em condições ambientais favoráveis; a escolha adequada do momento de aplicação dos herbicidas; o estímulo ao desenvolvimento da cultura de cobertura para aumento da quantidade de palha e a seleção de herbicidas com menor suscetibilidade à interceptação e retenção pela palha. As figuras 12 (2023/24) e 13 (2024/25) apresentam imagens das parcelas nas datas de avaliações e para cada tratamento.

Figura 12 - Imagens das parcelas dos tratamentos com herbicidas pré-emergentes aplicados em diferentes tipos de palha, 14, 28 e 56 dias após a aplicação, na safra 2023/24.



Fonte: autor, 2023.

Figura 13 - Imagens das parcelas dos tratamentos com herbicidas pré-emergentes aplicados em diferentes tipos de palha, 14, 28 e 56 dias após a aplicação, na safra 2024/25.



Fonte: autor, 2024.

Nos anexos desse trabalho apresentam tabelas com a massa seca e densidade de plantas daninhas avaliados e comparados por espécie e para cada herbicidas nas diferentes condições de palha.

5. CONCLUSÃO

A aplicação de herbicidas pré-emergentes sobre palha verde, proveniente da dessecação realizada no dia do plantio, reduziu a concentração de S-metolachlor, clomazone e diclosulam no solo na safra 2023/24, e especificamente de S-metolachlor na safra 2024/25, em comparação à aplicação sobre palha seca resultante da dessecação antecipada. Apesar disso, o controle de plantas daninhas pelos herbicidas diclosulam e clomazone não foi prejudicado. O S-metolachlor apresentou desempenho reduzido quando aplicado em palha verde. De modo geral, a aplicação de herbicidas pré-emergentes proporcionou melhor controle de plantas daninhas, em ambos os manejos de palha. Esses resultados indicam que o plantio em palha verde pode ser uma estratégia viável no manejo integrado de plantas daninhas, desde que associado ao uso de pré-emergentes com maior capacidade de transpor a cobertura, com menor valores de K_{ow} e maiores solubilidades e sob condições de precipitação favoráveis nos dias seguintes à aplicação.

REFERÊNCIAS

- ACHARYA, J.; ROBERTSON, A. E. **Effect of allelochemicals from cereal rye cultivar and *Pythium lularium* on corn growth and disease**. *PhytoFrontiers*, St. Paul, v. 3, p. 847–854, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTOFR-11-22-0137-R>.
- AGROFIT: **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. Brasília, DF: MAPA, 2003. Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 28 jun. 2025.
- ALFREDAS, S.; VAIDA, S.; LENKIS, A.; AUŠRA, S.; RASA, K.; VACLOVAS, B. **Weed abundance, seed bank in different soil tillage systems, and straw retention**. *Agronomy*, Basel, v. 15, n. 5, p. 1105, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15051105>.
- ALMEIDA, T. F.; ROBINSON, E.; MATTHIESEN-ANDERSON, R.; ROBERTSON, A. E.; BASCHE, A. **Effect of cover crop species and termination timing on corn growth and seedling disease**. *Agronomy Journal*, Madison, v. 116, p. 1792–1803, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.21601>.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.3611>.
- BANKS, P. A.; ROBINSON, E. L. **The influence of straw mulch on the soil reception and persistence of metribuzin**. *Weed Science*, v. 30, p. 164–168, 1982.
- BRAZ, G. B. P.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA, C. J. B.; SOUZA, M. F. **Herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS)**. In: PIASECKI, C. **Modo de ação e sintomatologia Como Funcionam os herbicidas: da absorção aos efeitos tóxicos que controlam as plantas daninhas**. Santo-Ângelo: Metrics, 2024. Cap. 9. p. 1-322.
- BROOKS, M. E.; KRISTENSEN, K.; VAN BENTHEM, K. J.; MAGNUSSON, A.; BERG, C. W.; NIELSEN, A.; SKAUG, H. J.; MAECHLER, M.; BOLKER, B. M. **glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling**. *The R Journal*, v. 9, p. 378–400, 2017.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. **Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach**. 2. ed. New York: Springer, 2002.
- CAIRES, E. F.; GUIMARÃES, A. M. **A novel phosphogypsum application recommendation method under continuous no-till management in Brazil**. *Agronomy Journal*, Madison, v. 110, p. 1987–1995, 2018.
- CARBONARI, C. A.; GOMES, G. L. G. C.; TRINDADE, M. L. B.; SILVA, J. R. M.; VELINI, E. D. **Dynamics of sulfentrazone applied to sugarcane crop residues**. *Weed Science*, v. 64, n. 1, p. 201–206, 2016.
- CAO, J.; DIAO, X.-P.; HU, J.-Y. **Hydrolysis and photolysis of herbicide clomazone in**

aqueous solutions and natural water under abiotic conditions. Journal of Integrative Agriculture, Beijing, v. 12, n. 11, p. 2074–2082, 2013.

CHEN, Y.; LIU, X.; SHI, Z.; BAI, H.; ZHANG, J.; SUN, D. **Soil carbon sequestration in paddy field and its simultaneous mineralization to supply available nutrients for the crops are affected by no-tillage with straw management: a meta-analysis.** Applied Soil Ecology, Amsterdam, v. 188, p. 104850, 2023.

CHAIM A, CAMARGO NETO J, PESSOA MCPY. Uso do programa computacional Gotas para avaliação da deposição da pulverização aérea sob diferentes condições climáticas. Jaguariuna, Brazil: **Embrapa Meio Ambiente**. 18 p, 2006.

CHUDZIK, G.; NUNES, J. J.; ARNESON, N. J.; DEWERFF, R. P.; FERREIRA, V. S.; PROCTOR, C.; STOLTENBERG, D. E.; CONLEY, S.; WERLE, R. **Postemergence giant ragweed management as affected by soil and cover crop management, soybean planting time, and preemergence herbicide application.** Weed Technology, Cambridge, v. 39, e19, p. 1–8, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2024.110>.

DALAZEN, G. (comp.). Herbicidas disruptores da divisão celular, inibidores da biossíntese de ácidos graxos de cadeia muito longa (AGCMIL) e inibidores da biossíntese de celulose: da absorção aos efeitos tóxicos que controlam as plantas daninhas. In: PIASECKI, C. **Modo de ação e sintomatologia Como Funcionam os herbicidas: da absorção aos efeitos tóxicos que controlam as plantas daninhas**. Santo-Ângelo: Metrics, 2024. Cap. 11. p. 1-322.

DIMOU, A. D.; SAKKAS, V. A.; ALBANIS, T. A. **Metolachlor photodegradation study in aqueous media under natural and simulated solar irradiation.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, Washington, DC, v. 53, n. 3, p. 694–701, 2005.

DONG, S.; DONG, J.; LI, P.; CAO, B.; LIU, M.; GUO, Z.; SONG, X.; MA, Y.; HU, C.; YUAN, X. **Allelopathic effects of corn straw and its water extracts on four weed species and foxtail millet.** Plants, Basel, v. 13, p. 1315, 2024.

DUAN, Y.; RAN, W.; HAN, M.; SUN, G.; JI, M.; GAO, P.; SHEN, X.; HONG, A.; ZHANG, H.; SUN, Y.; SHEN, J.; WU, C.; LI, Y. **Changes in dominant weeds of wheat in a rice–wheat rotation system as affected by composted manure and straw amendments.** Weed Science, Cambridge, v. 69, p. 219–229, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1017/wsc.2020.98>.

DUQUE, T. S.; OLIVEIRA, F. S.; SOUZA, I. M.; FERNANDES, B. C. C.; RODRIGUES, L. L. L. da S.; SILVA, D. V.; SANTOS, J. B. dos. **Efficacy of S-metolachlor + glyphosate for weed control in different levels of eucalyptus straw.** Forests, Basel, v. 14, p. 1828, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14091828>.

DURIGAN, J. C.; TIMOSSI, P. C.; LEITE, G. J. **Controle químico da tiririca (Cyperus rotundus), com e sem cobertura do solo pela palha de cana-de-açúcar.** Planta Daninha, Viçosa, MG, v. 22, n. 1, p. 125–131, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582004000100016>.

FANG, J.; ZHAN, Y.; ZHAO, B.; ZHAO, Y.; CHEN, Y.; ZHOU, Q.; WANG, H. **Photosynthetic performance and carbon metabolism in the ear organs of oats under drought stress.** Frontiers in Plant Science, Lausanne, v. 15, p. 1463284, 2025. DOI:

<https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1463284>.

FERREIRA, P. H. U.; FERGUSON, J. C.; REYNOLDS, D. B.; KRUGER, G. R.; IRBY, J. T. **Droplet size and physicochemical property effects on herbicide efficacy of pre-emergence herbicides in soybean (*Glycine max* (L.) Merr).** Pest Management Science, Hoboken, v. 75, n. 12, p. 3178–3186, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.5573>.

FICKS, T. S.; KARSTEN, H. D.; WALLACE, J. M. **Delayed cover-crop termination and reduced herbicide inputs produce trade-offs in soybean phase of US Northeast forage-grain rotation.** Weed Technology, Cambridge, v. 37, p. 132–140, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2023.18>.

FICKS, T. S.; LOWRY, C. J.; WALLACE, J. M. **Weed seed mass affects seedling establishment and resource allocation patterns across a cereal rye surface residue gradient.** Weed Research, Oxford, v. 62, p. 49–58, 2022.

FUENTES-LLANILLO, R.; TELLES, T. S.; SOARES JUNIOR, D.; MELO, T. R.; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A. **Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil.** Soil and Tillage Research, Amsterdam, v. 208, p. 104877, 2021.

GELMAN, A.; HILL, J. Data analysis using regression and multilevel/hierarchical models. **Cambridge:** Cambridge University Press, 2007.

GHOSHAL, D.; DIXIT, M.; NARAYANAN, N.; MANDAL, A.; SAINI, P.; BANERJEE, T.; SINGH, N.; KUMAR, A.; GUPTA, S. **Persistence and degradation of tembotrione in loamy soil: effect of various organic amendments, moisture regimes and temperatures.** Journal of environmental science and health. Part B. Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes, Philadelphia, v. 53, p. 611–623, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/03601234.2024.2403865>.

HEAP, I. **The International Herbicide-Resistant Weed Database.** Disponível em: <https://www.weedscience.org>. Acesso em: 5 jan. 2025.

HINTZ, G.; CARCEDO, A.; ALMEIDA, L. F.; CORASSA, G.; HORBE, T.; POTT, L.; SCHWALBERT, R.; HEFLEY, T.; PRASAD, P. V. V.; CIAMPITTI, I. Climate-adaptative management strategies for soybean production under ENSO scenarios in Southern Brazil: an in-silico analysis of crop failure risk. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 222, p. 104153, 2025.

HOTHORN, T.; BRETZ, F.; WESTFALL, P. **Simultaneous inference in general parametric models.** Biometrical Journal, Weinheim, v. 50, n. 3, p. 346–363, 2008.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos.** Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>. Acesso em: 21 jun. 2025.

KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R. **Global spread of conservation agriculture.** International Journal of Environmental Studies, Abingdon, v. 76, p. 29–51, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1494927>.

KHALIL, Y.; FLOWER, K.; SIDDIQUE, K. H. M.; WARD, P. **Rainfall affects leaching of pre-emergent herbicide from wheat residue into the soil**. PLoS ONE, San Francisco, v. 14, n. 2, e0210219, 2019.

LAVORENTI, A.; CERDEIRA, A. L.; DUKE, S. O.; MAZZAFERA, P. **Comportamento do diclosulam em amostras de um latossolo vermelho distroférrico sob plantio direto e convencional**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 183-190, 2003.

LENTH, R. **emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means**. R package v. 1.8.2. 2022. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>. Acesso em: 16 mar. 2025.

MACEDO, G. DE C.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D.; GOMES, G. L. G. C.; MATOS, A. K. A.; CASTRO, E. B.; BURGOS, N. R. **Behavior of sulfentrazone in the soil as influenced by cover crop before no-till soybean planting**. Weed Science, Cambridge, v. 68, p. 673–680, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1017/wsc.2020.70>.

MANTOVANI, G. G.; PELLINI, T.; BORDIN, I.; TELLES, T. S. **No-tillage and conservation agriculture adoption by farmers in southern Brazil**. Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 67, e24230806, 2024.

MATTE, W. D.; CAVALIERI, S. D.; PEREIRA, C. S.; IKEDA, F. S.; COSTA, W. B. **Residual activity of diclosulam applied to soybean on cotton crop in succession**. Planta Daninha, Viçosa, MG, v. 37, e019181370, 2019.

MEIER, P. C.; ZÜND, R. E. **Statistical methods in analytical chemistry**. New York: John Wiley & Sons, 1993. 424 p.

NASA – NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) Project, Hourly 2.x.x version. Langley Research Center, Hampton, VA, 15 jun. 2025. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Acesso em: 23 jun. 2025.

NICHOLS, V.; MARTINEZ-FERIA, R.; WEISBERGER, D.; CARLSON, S.; BASSO, B.; BASCHE, A. **Cover crops and weed suppression in the U.S. Midwest: a meta-analysis and modeling study**. Agricultural & Environmental Letters, Madison, v. 5, e0022, 2020.

NICHOLS, V.; VERHULST, N.; COX, R.; GOVAERTS, B. **Weed dynamics and conservation agriculture principles: a review**. Field Crops Research, Amsterdam, v. 183, p. 56–68, 2015.

NORD, E. A.; RYAN, M. R.; CURRAN, W. S.; MORTENSEN, D. A.; MIRSKY, S. B. **Effects of management type and timing on weed suppression in soybean no-till planted into rolled-crimped cereal rye**. Weed Science, Cambridge, v. 60, p. 624–633, 2012.

NUNES, P. A. A.; LACA, E. A.; CARVALHO, P. C. F.; LI, M.; SOUZA FILHO, W.; KUNRATH, T. R.; MARTINS, A. P.; GAUDIN, A. **Livestock integration into soybean systems improves long-term system stability and profits without compromising crop**

yields. Scientific Reports, London, v. 11, p. 1649, 2021.

NUNES, J. J.; ARNESON, N. J.; DEWERFF, R. P.; RUARK, M.; CONLEY, S.; SMITH, D.; WERLE, R. **Planting into a living cover crop alters preemergence herbicide dynamics and can reduce soybean yield.** Weed Technology, Cambridge, v. 37, n. 3, p. 226–235, 2023a.

NUNES, J.; ARNESON, N. J.; WALLACE, J.; GAGE, K.; MILLER, E.; LANCASTER, S.; MUELLER, T.; WERLE, R. **Impact of cereal rye cover crop on the fate of preemergence herbicides flumioxazin and pyroxasulfone and control of *Amaranthus* spp. in soybean.** Weed Science, Cambridge, v. 71, p. 493–505, 2023b. DOI: <https://doi.org/10.1017/wsc.2023.46>.

NUNES, J.; WALLACE, J.; ARNESON, N.; JOHNSON, W. G.; YOUNG, B.; NORSWORTHY, J. K.; IKLEY, J.; GAGE, K.; BRADLEY, K.; JHA, P.; LANCASTER, S.; KUMAR, V.; LEGLEITER, T.; WERLE, R. **Planting soybean green: how cereal rye biomass and preemergence herbicides impact *Amaranthus* spp. management and soybean yield.** Weed Science, Cambridge, v. 72, p. 1–12, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1017/wsc.2024.47>.

OFSTEHAGE, A.; NEHRING, R. **No-till agriculture and the deception of sustainability in Brazil.** International Journal of Agricultural Sustainability, Oxford, v. 19, n. 3/4, p. 335–348, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1910419>.

OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; BIFFE, D. F.; MACHADO, F. G.; SILVA, V. F. V. **Mecanismos de ação de herbicidas.** In: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. (Org.). Matologia: estudos sobre planta daninha. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021. Cap. 16, p. 1–547.

PPDP – **Pesticide Properties DataBase. Herbicides.** Disponível em: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/1027.htm>. Acesso em: 09 jan. 2025.

POFFENBARGER, H. J.; MIRSKY, S. B.; TEASDALE, J. R.; SPARGO, J. T.; CAVIGELLI, M. A.; KRAMER, M. **Nitrogen competition between corn and weeds in soils under organic and conventional management.** Weed Science, Cambridge, v. 63, p. 461–476, 2015.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing.** Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025.

RAO, V. N.; VENU GOPAL, N. V. S.; PATRUDU, T. B. **Removal of diclosulam pesticide residues in water samples using Cu-doped ZnO nanocatalyst.** International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, Kanchipuram, v. 9, n. 11, p. 910–921, 2020.

RANGANI, G., NOGUERA, M., SALAS-PEREZ, R., BENEDETTI, L., ROMA-BURGOS, N. **Mechanism of Resistance to S-metolachlor in Palmer amaranth.** Frontiers in Plant Science, v.12, 2021.

REED, H. K.; KARSTEN, H. D.; CURRAN, W. S.; TOOKER, J. F.; DUIKER, S. W. **Planting green effects on corn and soybean production.** Agronomy Journal, Madison, v. 111, p. 2314–2325, 2019.

REGINATTO, M.; BONOME, L. T. da S.; GIOVANETTI, L. K.; BITTENCOURT, H. V. H.;

TORMEN, L.; CONCEIÇÃO, P. C. **Allelopathic potential from cover crops aqueous extract on weeds and maize**. Research, Society and Development, v. 9, n. 10, e5859108579, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8579>.

RIGON, C. A. G. Herbicidas inibidores da biossíntese de carotenóides. In: PIASECKI, Cristiano. **Modo de ação e sintomatologia Como Funcionam os herbicidas: da absorção aos efeitos tóxicos que controlam as plantas daninhas**. Santo-Ângelo: Metrics, 2024. Cap. 9. p. 1-322.

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

SANTOS, T. S.; BRITO, I. P. F. S.; MATOS, A. K. A.; MIRANDA, V. P.; MEIRELLES, G. C.; ABREU, P. O.; ALCÁNTARA-DE LA CRUZ, R.; VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A. **Evaluation of a system to assess herbicide movement in straw under dry and wet conditions**. AgriEngineering, Basel, v. 6, p. 858–868, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriengineering6010049>.

SCHREIBER, F.; AVILA, L. A.; SCHERNER, A.; GEHRKE, V. R.; AGOSTINETTO, D. **Volatility of different formulations of clomazone herbicide**. Planta Daninha, Viçosa-MG, v. 33, n. 2, p. 315–321, 2015.

SCHUSTER, M. Z.; GASTAL, F.; DOISY, D.; CHARRIER, X.; MORAES, A. de; MÉDIÈNE, S.; BARBU, C. M. Weed regulation by crop and grassland competition: critical biomass level and persistence rate. European Journal of Agronomy, Amsterdam, v. 113, 125963, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125963>.

SCHUSTER, M. Z.; PELISSARI, A.; MORAES, A. de; HARRISON, S. K.; SULC, R. M.; LUSTOSA, S. B. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F. Grazing intensities affect weed seedling emergence and the seed bank in an integrated crop–livestock system. Agriculture, Ecosystems & Environment, Amsterdam, v. 232, p. 232–239, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.005>.

SILVA, A. A. et al. **Comportamento de herbicidas no solo**. In: MONQUERO, P. A. (Org.). Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas. São Carlos: Rima, 2014. p. 145–165.

SILVA, I. P. DE F. E. **Comportamento dos herbicidas sulfentrazone e diclosulam em diferentes manejos de culturas de cobertura**. 2016. 112f. Tese (Doutorado em Agronomia – Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2016.

THAPA, R.; TULLY, K.; REBERG-HORTON, C.; CABRERA, M.; DAVIS, B. W.; FLEISHER, D.; GASKIN, J.; HITCHCOCK, R.; PONCET, A.; SCHOMBERG, H. H.; SEEHAVER, S. A.; TIMLIN, D.; MIRSKY, S. B. **Cover crop residue decomposition in no-till cropping systems: insights from multi-state on-farm litter bag studies**. Agriculture, Ecosystems & Environment, Amsterdam, v. 326, p. 107823, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107823>.

TROPALDI, L.; BRITO, I. P. F. S.; DIAS, R. C.; TRINDADE, M. L. B.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D. **Dynamics of clomazone formulations under different applications**

conditions. Planta Daninha, Viçosa, MG, v. 37, p. 1–10, 2019.

TROPALDI, L.; CARBONARI, C. A.; BRITO, I. P. F. S.; MATOS, A. K. A.; MORAES, C. P.; VELINI, E. D. **Dynamics of clomazone formulations combined with sulfentrazone in sugarcane (*Saccharum spp.*) straw.** Agriculture, Basel, v. 11, p. 854, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11090854>.

WEBER, J. B.; WILKERSON, G. G.; LINKER, H. M.; WILCUT, J. W.; LEIDY, R. B.; SENSEMAN, S.; WITT, W. W.; BARRETT, M.; VENCILL, W. K.; SHAW, D. R.; MUELLER, T. C.; MILLER, D. K.; BRECKE, B. J.; TALBERT, R. E.; PEEPER, T. F. **A proposal to standardize soil/solution herbicide distribution coefficients.** Weed Science, Cambridge, v. 48, n. 1, p. 75–88, 2000.

WHITCOMB, C. E. **An introduction to ALS-inhibiting herbicides.** Toxicology and Industrial Health, London, v. 15, n. 1/2, p. 231–239, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1191/074823399678846592>.

ANEXOS

Este material suplementar reúne os resultados completos de densidade e massa seca por espécie de planta daninha avaliada em duas safras agrícolas consecutivos (2023/24 e 2024/25), sob aplicação de três herbicidas pré-emergentes S-metolachlor, clomazone microencapsulado e diclosulam, em palha previamente dessecada (seca) ou ainda viva no momento da semeadura (verde). Os dados estão organizados conforme as diferentes épocas de avaliação (14, 28 e 56 dias após a aplicação) e apresentam as comparações entre os tipos de palha dentro de cada tratamento herbicida, conforme indicado pelas letras ou ausência de diferença significativa (teste de Holm-Bonferroni, $\alpha = 0,05$). As tabelas contemplam tanto espécies com suscetibilidade reconhecida nas bulas quanto espécies não explicitamente incluídas nos registros técnicos dos produtos, ampliando a relevância prática e ecológica das informações disponibilizadas.

Adotou-se uma abordagem interpretativa centrada na resposta da comunidade de plantas daninhas com diferentes graus de tolerância aos herbicidas aplicados. Para isso, as espécies foram agrupadas em dois subconjuntos: (i) aquelas com registro de suscetibilidade comprovada nas bulas dos produtos utilizados, representando o espectro de ação esperado; e (ii) aquelas não explicitamente citadas nas recomendações técnicas, cuja presença nos agroecossistemas pode refletir escapes, tolerância intrínseca ou ausência de registro. Essa estratégia permitiu interpretar a eficácia herbicida de forma integrada, considerando tanto os efeitos esperados quanto os desafios reais enfrentados em campo.

Complementarmente, este material suplementar apresenta os dados desagregados por

espécie de planta daninha, o que permite uma análise mais detalhada das respostas específicas ao longo do tempo e entre diferentes contextos operacionais. Embora o foco do artigo principal esteja na compreensão funcional e ecológica do controle químico sob distintos manejos da palha, a apresentação por espécie reforça a solidez dos achados, fornece uma base útil para estudos comparativos e oferece subsídios valiosos para pesquisadores e técnicos que atuam com espécies-alvo específicas.

Tabelas 5 e 7 – Massa seca de plantas daninhas nas safras 2023/24 e 2024/25

As Tabelas 5 e 7 apresentam a massa seca das principais espécies de plantas daninhas aos 14, 28 e 56 dias após a aplicação dos herbicidas S-metolachlor, clomazone microencapsulado e diclosulam, sob condições de cobertura dessecada (palha seca) ou ainda viva (palha verde), ao longo de duas safras com contrastes edafoclimáticos marcantes.

De modo geral, observou-se que os tratamentos herbicidas reduziram substancialmente a massa seca das espécies suscetíveis em relação às testemunhas, com variações pontuais entre os anos e entre os tipos de palha. Em diversas situações, a aplicação sobre palha verde resultou em redução ainda maior da massa seca, sugerindo um possível efeito sinérgico entre a cobertura viva e a interceptação da calda herbicida.

Por exemplo, na safra 2023/24, a palha verde favoreceu uma menor massa seca de *Ipomoea* spp., *Bidens* spp., *Richardia brasiliensis* e *Urochloa* spp. em várias combinações de produto e tempo após aplicação, ainda que sem diferença estatística na maioria dos casos. Já na safra 2024/25, *Raphanus raphanistrum* e *Bidens* spp. apresentaram reduções significativas de biomassa sob palha verde em momentos específicos, especialmente com S-metolachlor e clomazone, refletindo o papel modulador da cobertura viva no desempenho herbicida.

Esses resultados corroboram a interpretação de que a eficácia agrônômica dos herbicidas não se limita à liberação do ingrediente ativo no solo, mas também depende da interação com o manejo da palha e da arquitetura da cobertura no momento da aplicação. A maior variabilidade na resposta ao longo do tempo reforça a importância de monitoramentos sequenciais para captar adequadamente o controle efetivo.

Tabelas 6 e 8 – Densidade de plantas daninhas nas safras 2023/24 e 2024/25

As Tabelas 6 e 8 detalham a densidade (plantas/m²) das principais espécies de plantas daninhas aos 14, 28 e 56 dias após a aplicação dos três herbicidas, nas duas condições de cobertura (seca e verde), ao longo das duas safras experimentais.

De forma consistente com os dados de biomassa, os herbicidas reduziram a densidade de espécies-alvo em relação às testemunhas, sendo que em vários casos a palha verde também promoveu densidades inferiores, sobretudo em momentos iniciais (14 e 28 DAA), sugerindo

possível efeito de barreira ou supressão adicional pela cobertura viva. Destacam-se as reduções significativas na densidade de *Cyperus* spp., *Urochloa* spp., *Bidens* spp. e *Raphanus raphanistrum* sob palha verde, principalmente nas comparações com palha seca, mesmo dentro de tratamentos com o mesmo herbicida.

Observou-se, ainda, que as diferenças entre safras influenciaram a magnitude do controle. Por exemplo, na safra 2024/25, os tratamentos com clomazone e diclosulam apresentaram maior variação no controle de *Bidens* spp. e *Raphanus raphanistrum*, provavelmente refletindo as condições ambientais mais favoráveis ao desenvolvimento de palha na segunda safra.

Essas evidências complementam os achados apresentados no corpo do manuscrito, reforçando o papel da palha viva não apenas como barreira física, mas como modulador ativo da resposta agrônômica, influenciando tanto o estabelecimento quanto o acúmulo de biomassa das espécies daninhas ao longo do tempo.

Tabela 5 - Massa seca de plantas daninhas com a aplicação de S-metolachlor, clomazone e diclosulam em palha seca ou verde 14, 28 e 56 dias após a aplicação dos herbicidas para safra 23/24.

Plantas daninhas	Safr 23/24							
	S-metolachlor		Clomazone		Diclosulam		Testemunha	
	Palha seca	Palha verde	Palha seca	Palha verde	Palha seca	Palha verde	Palha seca	Palha verde
Massa seca (kg/hectare) 14 dias após a aplicação								
<i>Ipomoea</i> spp.	0,63 ns	0,27	0,05 ns	0,01	1,70 ns	0,14	2,62 ns	3,25
<i>Cyperus</i> spp.	2,44 ns	7,15	2,23 ns	7,19	1,34 ns	1,29	42,85 ns	32,50
<i>Bidens</i> spp.	0,18 ns	1,23	0,07 ns	0,72	0,00 ns	0,02	24,89 ns	1,67
<i>Richardia brasiliensis</i>	0,00 ns	1,59	0,00 ns	0,08	0,00 ns	0,00	3,88 ns	16,91
<i>Urochloa</i> spp.	0,99 ns	7,52	2,28 ns	1,67	0,32 ns	0,26	18,33 ns	35,86
Massa seca (kg/hectare) 28 dias após a aplicação								
<i>Ipomoea</i> spp.	5,05 ns	0,85	1,47 ns	0,40	5,13 ns	1,52	15,13 ns	10,27
<i>Cyperus</i> spp.	21,20 ns	21,38	20,30 ns	60,22	4,17 ns	13,57	255,32 a	99,08 b
<i>Bidens</i> spp.	0,00 ns	4,25	0,00 ns	1,89	0,00 ns	0,00	20,28 ns	64,62
<i>Richardia brasiliensis</i>	0,00 ns	2,91	5,16 ns	8,36	0,00 ns	0,11	19,78 ns	1,51
<i>Urochloa</i> spp.	8,22 ns	22,00	22,30 ns	8,73	0,72 ns	3,23	148,31 ns	114,11
Massa seca (kg/hectare) 56 dias após a aplicação								
<i>Ipomoea</i> spp.	77,45 ns	13,1	105,06 ns	2,60	33,60 ns	13,60	41,10 ns	51,87
<i>Cyperus</i> spp.	581,87 ns	521,40	493,73 ns	778,65	201,25 ns	347,00	838,72 ns	560,72
<i>Bidens</i> spp.	0,00 ns	93,60	0,00 ns	16,30	0,00 ns	0,00	65,00 ns	358,00
<i>Richardia brasiliensis</i>	0,00 ns	71,40	134,25 ns	99,10	0,00 ns	2,92	65,77 ns	8,25
<i>Urochloa</i> spp.	260,70	506,41	469,60	164,00	40,60 ns	104,30	416,10	621,00

ns ns ns
 Letras diferentes, na comparação entre palha seca ou verde para cada tratamento com herbicida em uma mesma época de avaliação e espécie de planta daninha, indicam diferença estatística significativa entre os tipos de palha, segundo o teste de Holm-Bonferroni ($p \leq 0,05$). ns = diferença não significativa entre os tipos de palha.

Tabela 6 - Densidade de plantas daninhas com a aplicação de S-metolachlor, clomazone e diclosulam em palha seca ou verde 14, 28 e 56 dias após a aplicação dos herbicidas para safra 23/24.

Plantas daninhas	Safra 23/24							
	S-metolachlor		Clomazone		Diclosulam		Testemunha	
	Palha seca	Palha verde	Palha seca	Palha verde	Palha seca	Palha verde	Palha seca	Palha verde
Densidade (plantas/m ²) 14 dias após a aplicação								
<i>Ipomoea</i> spp.	3 ns	2	0 ns	0	6 ns	1	2 ns	3
<i>Cyperus</i> spp.	7 ns	13	6 b	28 a	7 ns	5	28 ns	61
<i>Bidens</i> spp.	0 ns	1	0 ns	0	0 ns	0	1 ns	3
<i>Richardia brasiliensis</i>	0 ns	2	2 ns	5	0 ns	0	4 ns	4
<i>Urochloa</i> spp.	3 ns	7	3 ns	3	2 ns	2	5 b	19 a
Densidade (plantas/m ²) 28 dias após a aplicação								
<i>Ipomoea</i> spp.	3 ns	3	2 ns	1	14 ns	2	2 ns	1
<i>Cyperus</i> spp.	7 b	23 a	11 b	51 a	11 ns	17	11 b	51 a
<i>Bidens</i> spp.	0 ns	2	0 ns	1	0 ns	0	0 ns	1
<i>Richardia brasiliensis</i>	0 ns	3	4 ns	8	0 ns	1	4 ns	8
<i>Urochloa</i> spp.	3 b	14 a	6 ns	5	2 ns	3	6 ns	5
Densidade (plantas/m ²) 56 dias após a aplicação								
<i>Ipomoea</i> spp.	3 ns	4	2 ns	1	2 ns	2	4 ns	4
<i>Cyperus</i> spp.	54 ns	62	44 b	139 a	48 ns	59	72 ns	109
<i>Bidens</i> spp.	0 ns	4	0 ns	2	0 ns	0	2 ns	4
<i>Richardia brasiliensis</i>	0 ns	8	10 ns	19	0 ns	1	8 ns	7
<i>Urochloa</i> spp.	15 b	35 a	18 ns	13	6 ns	5	13 b	30 a

Letras diferentes, na comparação entre palha seca ou verde para cada tratamento com herbicida em uma mesma época de avaliação e espécie de planta daninha, indicam diferença estatística significativa entre os tipos de palha, segundo o teste de Holm-Bonferroni ($p \leq 0,05$). ns = diferença não significativa entre os tipos de palha.

Tabela 7 - Massa seca de plantas daninhas com a aplicação de S-metolachlor, clomazone e diclosulam em palha seca ou verde 14, 28 e 56 dias após a aplicação dos herbicidas para safra 24/25.

Plantas daninhas	Safra 24/25							
	S-metolachlor		Clomazone		Diclosulam		Testemunha	
	Palha seca	Palha verde	Palha seca	Palha verde	Palha seca	Palha verde	Palha seca	Palha verde
Massa seca (kg/hectare) 14 dias após a aplicação								
<i>Ipomoea</i> spp.	1,07 ns	0,00	0,25 ns	0,00	1,10 ns	0,00	0,00 ns	0,32
<i>Raphanus raphanistrum</i>	9,25 ns	2,85	2,55 ns	0,00	1,85 ns	0,45	8,90 ns	10,80
<i>Bidens</i> spp.	3,57 ns	0,00	0,35 ns	0,00	0,00 ns	0,00	6,00 ns	6,62
<i>Urochloa</i> spp.	0,00 ns	2,90	0,00 ns	6,30	0,00 ns	0,00	1,80 ns	0,00
<i>Euphorbia heterophylla</i>	0,20 ns	0,00	0,60 ns	0,00	0,00 ns	0,00	0,00 ns	0,00
Massa seca (kg/hectare) 28 dias após a aplicação								
<i>Ipomoea</i> spp.	4,67 ns	0,60	0,00 ns	0,15	0,52 ns	0,82	1,32 ns	10,87
<i>Raphanus raphanistrum</i>	152,27 a	14,42 b	34,45 ns	9,57	5,45 ns	0,70	182,75 ns	144,52
<i>Bidens</i> spp.	28,42 ns	36,52	4,17 ns	9,85	0,27 ns	0,95	42,97 ns	33,00
<i>Urochloa</i> spp.	2,60 ns	1,50	0,10 ns	12,62	3,75 ns	0,90	10,63 ns	10,47
<i>Euphorbia heterophylla</i>	0,30 ns	3,00	2,60 ns	0,6	0,00 ns	0,00	0,00 ns	0,30
Massa seca (kg/hectare) 56 dias após a aplicação								
<i>Ipomoea</i> spp.	25,60 ns	14,70	14,70 ns	66,47	19,60 ns	47,92	31,02 ns	45,70
<i>Raphanus raphanistrum</i>	1949,45 ns	2851,95	846,10 ns	658,82	26,32 ns	1,27	1579,52 ns	731,00
<i>Bidens</i> spp.	527,42 b	1251,06 a	105,97 b	11182,14 a	204,70 a	46,65 b	827,97 ns	1541,93
<i>Urochloa</i> spp.	36,37 b	186,20 a	13,20 ns	25,45	125,32 b	487,37 a	85,42 ns	34,87
<i>Euphorbia heterophylla</i>	0,55 ns	17,20	12,42 ns	43,65	13,92 ns	20,77	0,37 ns	5,90
<i>Richardia brasiliensis</i>	20,05 b	109,50 a	379,75 a	87,15 b	2,60 ns	3,95	96,70 ns	90,87

Letras diferentes, na comparação entre palha seca ou verde para cada tratamento com herbicida em uma mesma época de avaliação e espécie de planta daninha, indicam diferença estatística significativa entre os tipos de palha, segundo o teste de Holm-Bonferroni ($p \leq 0,05$). ns = diferença não significativa entre os tipos de palha.

Tabela 8 - Densidade de plantas daninhas com a aplicação de S-metolachlor, clomazone e diclosulam em palha seca ou verde 14, 28 e 56 dias após a aplicação dos herbicidas para safra 24/25.

Plantas daninhas	Safra 24/25							
	S-metolachlor		Clomazone		Diclosulam		Testemunha	
	Palha seca	Palha verde	Palha seca	Palha verde	Palha seca	Palha verde	Palha seca	Palha verde
Densidade (plantas/m ²) 14 dias após a aplicação								
<i>Ipomoea</i> spp.	4 ns	0	1 ns	0	1 ns	0	0 ns	0
<i>Raphanus raphanistrum</i>	18 ns	9	19 ns	0	17 ns	2	30 ns	43
<i>Bidens</i> spp.	26 ns	0	2 ns	0	0 ns	0	39 ns	33
<i>Urochloa</i> spp.	0 ns	1	0 ns	2	0 ns	0	10 ns	0
<i>Euphorbia heterophylla</i>	1 ns	0	2 ns	0	0 ns	0	0 ns	0
Densidade (plantas/m ²) 28 dias após a aplicação								
<i>Ipomoea</i> spp.	3 ns	1	0 ns	0	1 ns	2	4 ns	18
<i>Raphanus raphanistrum</i>	51 a	8 b	29 ns	10	11 a	2 b	37 b	74 a
<i>Bidens</i> spp.	51 a	21 b	25 ns	17	1 ns	1	95 ns	127
<i>Urochloa</i> spp.	8 ns	4	2 ns	7	30 a	11 b	44 ns	31
<i>Euphorbia heterophylla</i>	1 ns	3	1 ns	1	0 ns	0	0 ns	1
Densidade (plantas/m ²) 56 dias após a aplicação								
<i>Ipomoea</i> spp.	8 ns	5	8 ns	8	12 ns	14	12 ns	16
<i>Raphanus raphanistrum</i>	19 ns	30	17 ns	8	2 ns	1	23 ns	10
<i>Bidens</i> spp.	19 a	37 b	14 ns	25	9 ns	2	41 ns	25
<i>Urochloa</i> spp.	15 ns	15 ns	17 a	6 b	44 b	80 a	32 ns	10
<i>Euphorbia heterophylla</i>	1 ns	1 ns	1 ns	5	2 ns	5	1 ns	0
<i>Richardia brasiliensis</i>	6 ns	10	33 ns	10	4 ns	0	30 a	16 b

Letras diferentes, na comparação entre palha seca ou verde para cada tratamento com herbicida em uma mesma época de avaliação e espécie de planta daninha, indicam diferença estatística significativa entre os tipos de palha, segundo o teste de Holm-Bonferroni ($p \leq 0,05$). ns = diferença não significativa entre os tipos de palha.