



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



JOÃO FARSONI MALAGUTTI

**EFICÁCIA DE HERBICIDAS RESIDUAIS APLICADOS SOBRE DIFERENTES
ESTÁGIOS DE DECOMPOSIÇÃO DE *MULCH* DE BRAQUIÁRIA (*Urochloa
ruziziensis*) EM DIFERENTES LÂMINAS DE PRECIPITAÇÃO**

ARARAS - 2025



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



JOÃO FARSONI MALAGUTTI

**EFICÁCIA DE HERBICIDAS RESIDUAIS APLICADOS SOBRE DIFERENTES
ESTÁGIOS DE DECOMPOSIÇÃO DE *MULCH* DE BRAQUIÁRIA (*Urochloa
ruziziensis*) EM DIFERENTES LÂMINAS DE PRECIPITAÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Agrônoma – CCA – UFSCar para
a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo

Orientador: Profa. Dra. Patrícia Marluci da Conceição

Co-orientador: Dr. Rodrigo Martinelli

ARARAS – 2025

**Dedico este trabalho a minha família pelo
apoio incondicional durante a minha
jornada acadêmica.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meu pais, Eneida e João, minhas irmãs, Laura e Catarina, e meus tios, tias e primos por sempre me apoiarem e serem minha base para que eu possa ser uma pessoa melhor a cada dia. Gostaria de expressar minha gratidão a minha tia Estela Farsoni que sempre estará em minha memória.

Agradeço a minha namorada Laura Hartung, pela sua parceria, por fazer parte da minha vida, sempre me apoiando.

Sou grato a UFSCar pela oportunidade de me formar em uma das melhores universidades do país, onde pude aprimorar meus conhecimentos de uma área que desde criança sempre gostei.

Agradeço ao Centro de Citricultura Sylvio Moreira/IAC, em especial aos meus orientadores dos projetos de Iniciação Científica (PIBIC), Prof. Dr. Fernando Alves de Azevedo e Dr. Rodrigo Martinelli, e aos meus colegas de trabalho, Rafaela, Latária, Luidi, pelo auxílio no desenvolvimento deste projeto e de todas as atividades que realizei ao longo de minha passagem pelo centro.

Grato à minha orientadora de TFG, a Dra. Patrícia Marluci da Conceição pela paciência e conhecimento compartilhados na realização deste trabalho.

Por fim, gostaria de expressar minha gratidão aos meus colegas de apartamento, João Pedro, Artur e Henrique por todo o tempo vivido com vocês e por se tornarem minha segunda família.

“Faça o teu melhor, na condição que você tem, enquanto você não tem condições melhores, para fazer melhor ainda!”

Mario Sergio Cortela

RESUMO

O uso do *mulch* de *Urochloa ruziziensis* tem se mostrado uma alternativa eficiente no manejo de plantas daninhas em citros. No entanto, sua interação com herbicidas residuais ainda é pouco compreendida. Objetivou-se com este estudo avaliar a eficácia de herbicidas residuais aplicados sobre *mulch* de *U. ruziziensis* em diferentes estágios de decomposição e lâminas de precipitação simulada. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Centro de Citricultura Sylvio Moreira (CCSM/IAC) em Cordeirópolis-SP. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 2, com cinco repetições, compostos pelas condições de *mulch* de *U. ruziziensis*: sem *mulch*, *mulch* verde e *mulch* seco; e duas lâminas de precipitação: 5 e 20 mm. Como experimentos independentes, foram utilizados os herbicidas sulfentrazone, indaziflam e oxyfluorfen, além de um tratamento controle, sem aplicação. Utilizou-se o feijão (*Phaseolus vulgaris*) como planta bioindicadora, semeado antes da aplicação dos tratamentos. A emergência das plantas foi avaliada aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA), e a biomassa seca da parte aérea das plantas foi determinada aos 28 DAA. Os resultados indicaram que a interação entre *mulch* de *U. ruziziensis* e lâminas de precipitação afetou de forma distinta a eficácia dos herbicidas avaliados. O sulfentrazone apresentou baixa eficácia de controle da emergência (10 a 25%) em todas as condições, sem diferenças relevantes entre *mulch* ou lâminas de precipitação, não havendo diferenças significativas na redução de biomassa das plantas. O comportamento desse herbicida foi estável ao longo do tempo, refletindo sua alta solubilidade e baixa sorção, que favorecem a lixiviação. O indaziflam apresentou alto nível de controle (80%), sendo mais eficaz na lâmina de 20 mm, especialmente na presença de *mulch*. A redução de biomassa das plantas também foi maior com a lâmina de 20 mm nos tratamentos com *mulch*, sem diferenças na ausência de cobertura. O oxyfluorfen apresentou controles de emergência baixos a moderados (10 a 35%), com resposta positiva à lâmina de 20 mm, especialmente sob *mulch* verde. Quanto à redução de biomassa das plantas, a lâmina de 20 mm proporcionou redução de biomassa significativamente superior à lâmina de 5 mm. Esses resultados destacam a importância da precipitação, de se considerar a interação entre *mulch* e as características físico-químicas dos herbicidas no manejo de plantas daninhas em citros.

Palavras-chave: Plantas daninhas; palha; pré-emergência; indaziflam; oxyfluorfen.

ABSTRACT

The use of *Urochloa ruziziensis* mulch, obtained through ecological mowing, has proven to be an effective alternative for weed management in citriculture. Nevertheless, its interaction with residual herbicides remains poorly understood. This study aimed to evaluate the efficacy of residual herbicides applied over *U. ruziziensis* mulch at different decomposition stages and under simulated rainfall depths. The experiment was conducted in a greenhouse at the 'Sylvio Moreira' Citrus Center (CCSM/IAC) in Cordeirópolis, São Paulo, Brazil. A completely randomized design was adopted, arranged in a 3 × 2 factorial scheme with five replications, consisting of three mulch conditions (no mulch, fresh mulch, and dry mulch) and two rainfall depths (5 and 20 mm). Independent experiments were carried out for the herbicides sulfentrazone, indaziflam, and oxyfluorfen, along with an untreated control. Common bean (*Phaseolus vulgaris*) was used as a bioindicator species, sown prior to treatment application. Plant emergence was assessed at 7, 14, 21, and 28 days after application (DAA), and shoot dry biomass was determined at 28 DAA. The results showed that the interaction between *U. ruziziensis* mulch and rainfall depths affected herbicide efficacy differently depending on the active ingredient. Sulfentrazone exhibited low germination control (10–25%) under all conditions, with no meaningful differences between mulch types or rainfall depths. Its behavior remained stable over time, reflecting its high solubility and low sorption, which favor leaching. No significant differences were observed in biomass reduction. Indaziflam showed high control levels (≈80%), being more effective under the 20 mm rainfall depth, particularly on dry mulch. On fresh mulch, high efficacy was maintained regardless of rainfall depth. Biomass reduction was also greater under 20 mm in treatments with mulch, with no differences in the absence of cover. Oxyfluorfen exhibited low to moderate germination control (10–35%), with similar behavior across mulch types. Although the 20 mm depth resulted in numerically higher values, this difference was significant only on fresh mulch in the final evaluations. Biomass reduction did not differ significantly among treatments. Overall, these results highlight the importance of considering the interaction between mulch and the physicochemical characteristics of herbicides when developing weed management strategies in citrus orchards.

Keywords: Weeds; mulch; pre-emergence; indaziflam; oxyfluorfen.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Casa de vegetação, localizada no Centro de Citricultura Sylvio Moreira (Instituto Agronômico-IAC) em Cordeirópolis, São Paulo, 2025.	19
Figura 2. Unidades experimentais constituídas por vasos preenchidos com solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico.	20
Figura 3. Precipitação simulada nas unidades experimentais.	22
Figura 4. Percentual de controle da emergência de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) sob efeito do herbicida sulfentrazone, aos 7, 14, 21, 28 DAA, aplicados sob precipitação simulada (PS) de 5 e 20mm, sobre solo com <i>mulch</i> verde, <i>mulch</i> seco e sem <i>mulch</i> . Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%), minúsculas na comparação entre as precipitações, e maiúsculas na comparação entre as condições de <i>mulch</i>	24
Figura 5. Redução percentual de biomassa seca de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) em relação à testemunha, sob efeito do herbicida sulfentrazone, aos 28 DAA, aplicados sob precipitação simulada de 5 e 20mm, sobre solo com de <i>mulch</i> verde, <i>mulch</i> seco e sem <i>mulch</i> . Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%), minúsculas na comparação entre as precipitações, e maiúsculas na comparação entre as condições de <i>mulch</i>	25
Figura 6. Percentual de controle da emergência de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) sob efeito do herbicida indaziflam, aos 7, 14, 21, 28 DAA, aplicados sob precipitação simulada (PS) de 5 e 20mm, sobre solo com <i>mulch</i> verde, <i>mulch</i> seco e sem <i>mulch</i> . Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%), minúsculas na comparação entre as precipitações, e maiúsculas na comparação entre as condições de <i>mulch</i>	27
Figura 7. Redução percentual de biomassa seca do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) em relação à testemunha, sob efeito do herbicida indaziflam, aos 28 DAA, aplicados sob precipitação simulada de 5 e 20mm, sobre solo com de <i>mulch</i> verde, <i>mulch</i> seco e sem <i>mulch</i> . Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%), minúsculas na comparação entre as precipitações, e maiúsculas na comparação entre as condições de <i>mulch</i>	28
Figura 8. Percentual de controle da emergência de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) sob efeito do herbicida oxyfluorfen, aos 7, 14, 21, 28 DAA, aplicados sob precipitação simulada (PS) de 5 e 20mm, sobre solo com <i>mulch</i> verde, <i>mulch</i> seco e sem <i>mulch</i> . Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%), minúsculas na comparação entre as precipitações, e maiúsculas na comparação entre as condições de <i>mulch</i>	29
Figura 9. Redução percentual de biomassa seca do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) em relação à testemunha, sob efeito do herbicida oxyfluorfen, aos 28 DAA, aplicados sob precipitação simulada de 5 e 20mm, sobre solo com de <i>mulch</i> verde, <i>mulch</i> seco e sem <i>mulch</i> . Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%), minúsculas na comparação entre as precipitações, e maiúsculas na comparação entre as condições de <i>mulch</i>	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos tratamentos com aplicação e características dos herbicidas:.....	19
Tabela 2. Parâmetros de irrigação e tempos de aplicação para simulação de diferentes lâminas de precipitação.	22

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1. Importância da citricultura	12
2.2. Manejo de plantas daninhas em citros	14
2.3. Interação entre <i>mulch</i> e herbicidas residuais	16
3. HIPÓTESE	18
4. OBJETIVOS.....	18
4.1. Objetivo geral	18
4.2. Objetivos específicos.....	18
5. MATERIAL E MÉTODOS	18
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
7. CONCLUSÃO	32
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

A citricultura é uma importante atividade econômica em diversos países, colaborando significativamente com as exportações e geração de empregos. O Brasil se destaca como o maior produtor de laranja doce [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] e exportador mundial de suco de laranja concentrado congelado (Agrostat, 2024). O país possui aproximadamente 700 mil hectares de laranjas plantadas, com a maior parte concentrada no estado de São Paulo (FUNDECITRUS, 2025).

A competição de plantas daninhas é uma importante restrição biótica para a produção de alimentos, pois elas competem com as culturas por recursos como nutrientes, água e luz, reduzindo drasticamente os rendimentos. Estima-se que os efeitos diretos podem ser observados na produtividade, chegando a atingir até 90% ou mais (EMBRAPA, 2022). As plantas daninhas são extremamente competitivas por sua capacidade de crescimento acelerado a exposição solar, condições de umidade e disposição nutricional. Apresentam alta resistência ao ataque de pragas e doenças, e grande capacidade de produção de propágulos vegetativos viáveis. Os estudos de Martinelli et al. (2021) e Azevedo et al. (2020) apontaram que as perdas de produção em pomares de citros, devido a competição com plantas daninhas, variam entre 52% a 88%.

Estratégias sustentáveis e integradas no manejo de plantas daninhas podem reduzir a competição com a cultura, aumentar a produtividade e diminuir a dependência de herbicidas. Além disso, promovem benefícios ao solo, como controle da erosão, ciclagem de nutrientes, incremento da matéria orgânica, melhor infiltração de água e redução da temperatura do solo (Dille, Chism e Sassenrat, 2021). Em pomares de citros no Brasil, a adoção de culturas de cobertura aliadas a roçagens ecológicas mostrou-se eficaz na redução da densidade de plantas daninhas, aumentando a produtividade da cultura em até 52% (Martinelli et al., 2017).

Dentro desse contexto, a escolha de espécies adequadas para cobertura é fundamental. A gramínea tropical *Urochloa ruziziensis* destaca-se por sua elevada produção de biomassa, proporcionando excelente cobertura do solo (Baptistella et al., 2020). Estudos em pomares de lima ácida Tahiti [*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka)] indicam que a utilização de *U. ruziziensis* como cobertura, combinada com roçagem ecológica, eleva a atividade microbiana do solo e aumenta a produtividade em cerca de 20% ao longo de dez anos. Além disso, apresenta menor competição com os citros

em comparação a *U. decumbens*, caracterizando-se como uma espécie menos agressiva (Arantes et al., 2020).

A presença de diferentes tipos e quantidades de mulch pode interferir no manejo das plantas daninhas, atuando como uma barreira física, química e biológica. Fisicamente, o mulch dificulta a emergência das plântulas e intercepta os herbicidas aplicados; quimicamente, pode adsorver os ingredientes ativos, alterando sua disponibilidade e dinâmica no solo; e biologicamente, modifica as condições edafoclimáticas e estimula a atividade microbiana, influenciando processos como a degradação dos herbicidas e a germinação das plantas daninhas (Munhoz-Garcia et al., 2023).

Após a aplicação, herbicidas estão sujeitos a processos de degradação, transporte e retenção. Esses processos são influenciados por fatores físicos e químicos envolvidos na dinâmica dos herbicidas em palha, como tempo de contato herbicida-palha, quantidade de precipitação, tipo e quantidade de palha, grau de decomposição da matéria orgânica e características intrínsecas aos herbicidas, como solubilidade em água (S_w), coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}), constante de ionização ácida (pK_a), coeficiente de adsorção (K_{oc}) e meia-vida ($t_{1/2}$) (Takeshita et al., 2019).

Além disso, a eficácia dos herbicidas residuais depende diretamente da precipitação após a aplicação, essencial para que esses produtos alcancem o solo e ajam de maneira eficiente (Tofoli et al., 2009). Entretanto, a dinâmica de herbicidas residuais em *mulch* de *U. ruziziensis* ainda é pouco estudada. Portanto, compreender essa interação, considerando diferentes herbicidas residuais e lâminas de precipitação, é essencial para o desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis em pomares de citros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância da citricultura

O Brasil ocupa posição de destaque no cenário mundial da citricultura, sendo o segundo maior produtor, com aproximadamente 20 milhões de toneladas, em 2023, ficando atrás apenas da China, que produziu 48 milhões de toneladas. Entretanto, quando se trata da produção de laranja, o país lidera o ranking global, respondendo

por 25% da produção mundial, com cerca de 17,6 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2025).

A citricultura brasileira está presente em diversas regiões do país, mas sua maior concentração é no chamado Cinturão Citrícola, que abrange o estado de São Paulo e o Triângulo Mineiro. Essa área é organizada em cinco setores (norte, noroeste, centro, sul e sudeste), subdivididos em 12 regiões de produção: Triângulo Mineiro, Bebedouro, Altinópolis, Votuporanga, São José do Rio Preto, Matão, Duartina, Porto Ferreira, Brotas, Limeira, Avaré e Itapetininga (FUNDECITRUS, 2025).

A citricultura brasileira está distribuída em diversas regiões do país, porém cerca de 80% da produção nacional de laranja concentra-se no Cinturão Citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro, considerado o principal polo produtor de laranja para a indústria de suco do mundo. Esse cinturão é dividido em cinco setores (Norte, Noroeste, Centro, Sul e Sudeste), subdivididos em 12 regiões de produção: Triângulo/Sudoeste Mineiro, Bebedouro, Altinópolis, Votuporanga, São José do Rio Preto, Matão, Duartina, Porto Ferreira, Brotas, Limeira, Avaré e Itapetininga (FUNDECITRUS, 2025).

A atividade citrícola no Brasil desempenha um papel socioeconômico fundamental, envolvendo cerca de 350 municípios, gerando aproximadamente 200 mil empregos diretos e indiretos e movimentando uma cadeia produtiva que alcança em torno de 14 bilhões de dólares ao ano (FUNDECITRUS, 2021).

Embora seja líder mundial na produção de laranja, o Brasil ainda enfrenta desafios em outros grupos de citros. Em 2023, o Brasil ocupou a 7ª posição na produção de tangerinas, com produção de 1,05 milhões de toneladas. Foi o 6º colocado na produção de limas e limões, produzindo 1,7 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2025).

Apesar do bom desempenho, a citricultura nacional enfrenta diversos desafios que ameaçam sua sustentabilidade e produtividade, incluindo plantas daninhas, pragas, doenças e, mais recentemente, os impactos das mudanças climáticas. Eventos climáticos extremos, como períodos prolongados de estiagem e chuvas intensas, podem comprometer o desenvolvimento das plantas, favorecer a ocorrência de estresses fisiológicos e influenciar a dinâmica de pragas, doenças e herbicidas no ambiente. Além disso, a expansão do *greening* (*Huanglongbing* – HLB), considerada atualmente a principal doença da citricultura mundial, tem provocado expressivas

perdas econômicas e redução da longevidade dos pomares. Nesse contexto, as plantas daninhas também se destacam por competirem por luz, água e nutrientes, comprometendo o crescimento das plantas e a produtividade dos citros. Dessa forma, grande parte dos desafios enfrentados pelo setor está diretamente relacionada à sanidade vegetal e ao manejo adequado dos pomares (Furlan, 2014), reforçando a importância da adoção de estratégias eficientes de manejo integrado de plantas daninhas.

2.2. Manejo de plantas daninhas em citros

As plantas daninhas, em conjunto com as pragas e doenças, são responsáveis por consideráveis perdas na citricultura. As plantas daninhas, por inúmeras vezes, passam despercebidas pelo citricultor, uma vez que os impactos das doenças e pragas são mais facilmente percebidos. Entretanto, seu manejo correto também é de extrema importância (Martinelli, 2021).

Tratando-se de um fator biótico, as plantas daninhas podem interferir diretamente na produção e no crescimento das plantas de citros, pois competem por recursos primordiais ao seu crescimento. O estudo de Martinelli et al. (2017) aponta que as plantas daninhas resultam em perdas superiores a 50% em pomares de lima ácida Tahiti. O manejo de plantas daninhas é um componente essencial na citricultura, uma vez que a presença dessas espécies pode reduzir a produtividade por competir com as árvores cítricas por água, luz e nutrientes, além de dificultar tratamentos culturais e a colheita (Soares et al., 2021). Diversos métodos podem ser aplicados, que variam de práticas culturais até o uso de herbicidas, sendo a integração de estratégias a forma mais eficiente e sustentável. A adoção de estratégias sustentáveis e integradas no manejo de plantas daninhas contribui para reduzir a competição, aumentar a produtividade e minimizar a dependência de herbicidas.

O controle cultural baseia-se na utilização de coberturas vegetais capazes de reduzir a emergência de plantas daninhas e melhorar as condições físicas e biológicas do solo. Dentre as espécies empregadas, destacam-se as do gênero *Urochloa*, da família Poaceae amplamente conhecidas como braquiárias. Essas espécies têm sido utilizadas com sucesso em sistemas agrícolas, resultando em aumento de produtividade quando comparadas ao manejo convencional, que se caracteriza pela

ausência de cobertura vegetal e pelo uso intensivo de gradagens, capinas e herbicidas (Martinelli, 2021). Além disso, culturas de cobertura associadas a roçagem ecológica apresentam benefícios adicionais, devido ao *mulch* (cobertura morta), que além do maior controle de plantas daninhas, gera maiores níveis de matéria orgânica, fertilidade do solo e nutrição das plantas de citros, menores níveis de resistência à compactação do solo, maiores teores de umidade do solo e de potencial hídrico das folhas de citros, além de maior crescimento e produtividade (Azevedo *et al.*, 2020).

A técnica de manejo denominada de “roçagem ecológica”, que consiste na associação de uma cultura de cobertura nas entrelinhas do pomar, juntamente com uma roçadora lateral do tipo ecológica, trata-se de uma opção de Agricultura de Conservação (AC) por proporcionar a utilização de mulch orgânico, que é produzido *in situ*. Essa técnica reduz significativamente a densidade de plantas daninhas e proporciona incrementos de produtividade (Martinelli *et al.*, 2017).

O controle mecânico pode ser realizado principalmente por meio de roçagens na entrelinha, prática bastante comum em pomares brasileiros. A roçagem contribui para reduzir a interferência de plantas espontâneas ou das culturas de cobertura implantadas e, quando associada a práticas sustentáveis de manejo, favorece a manutenção da biodiversidade no agroecossistema cítrico (Araújo Neto *et al.*, 2023).

O controle químico baseia-se na aplicação de herbicidas, geralmente direcionados à linha de plantio. Essa prática é eficiente e de baixo custo operacional, mas seu uso contínuo pode favorecer a seleção de biótipos resistentes e aumentar riscos ambientais, o que justifica a necessidade de integração com outros métodos (Soares *et al.*, 2021).

O controle biológico ainda é pouco difundido em escala comercial, mas pesquisas apontam alternativas promissoras. Um dos enfoques é a utilização da alopatia, processo em que substâncias químicas liberadas por plantas, como a braquiária e a crotalária, inibem a germinação e o crescimento de espécies infestantes (Ribeiro *et al.*, 2012). Esses efeitos podem ser explorados tanto por meio do uso de plantas de cobertura como pelo aproveitamento de resíduos vegetais.

Atualmente, o Manejo Integrado de Plantas Daninhas (MIPD) é a estratégia mais recomendada na citricultura, por combinar o uso racional de herbicidas direcionados na linha de plantio com o manejo da vegetação na entrelinha, geralmente realizado por meio de roçagens periódicas com roçadeira ecológica. Essa abordagem

permite manter a cobertura vegetal controlada, seja ela espontânea ou implantada, reduzindo a competição por recursos com os citros e contribuindo para a conservação do solo e da umidade, além de diminuir a necessidade de intervenções químicas.

Nesse contexto, Azevedo et al. (2020) avaliaram diferentes estratégias de manejo de plantas daninhas em pomar de lima ácida Tahiti, comparando os sistemas: convencional (gradagens anuais na entrelinha e aplicação de herbicida na linha de plantio), cultivo mínimo (roçagem convencional na entrelinha e herbicida na linha), plantio direto sem herbicida (roçagem ecológica na entrelinha sem uso de herbicida na linha) e plantio direto com herbicida (roçagem ecológica na entrelinha associada ao uso de herbicida na linha). Os autores constataram que os sistemas baseados apenas no controle químico não foram eficientes, enquanto o plantio direto com herbicida proporcionou melhor desempenho, garantindo controle mais duradouro e menor reinfestação. Esses resultados reforçam a importância da integração entre o controle químico e o uso de cobertura vegetal, pilares fundamentais do MIPD na citricultura.

2.3. Interação entre *mulch* e herbicidas residuais

A utilização de diferentes tipos e quantidades de *mulch* pode influenciar significativamente o manejo das plantas daninhas, atuando como uma barreira tanto física quanto química. Essa camada pode alterar a disponibilidade, o movimento e até mesmo a eficácia dos herbicidas no solo, modificando sua interação com o ambiente edáfico e com as sementes das espécies infestantes (Munhoz-Garcia et al., 2023).

O grau de decomposição da palha pode exercer influência significativa sobre o comportamento dos herbicidas aplicados. Embora não existam estudos específicos em pomares de citros, pesquisas em sistemas de colheita de cana-de-açúcar indicam que, à medida que a palha se decompõe, suas propriedades físicas e químicas como capacidade de retenção de água, temperatura superficial e porosidade sofrem alterações, impactando a interceptação, lixiviação e dissipação dos herbicidas (Tonieto & Regitano, 2014). Palhas menos decompostas tendem a reter mais água e apresentar temperaturas superficiais mais elevadas, favorecendo a volatilização e reduzindo a transposição do herbicida para o solo. Por outro lado, palhas mais decompostas permitem maior transposição do produto até o perfil do solo, potencializando o controle das espécies infestantes. Dessa forma, compreender o

estágio de decomposição da palha é essencial para ajustar a dose, o momento e a forma de aplicação dos herbicidas, otimizando o manejo químico, aumentando a eficácia agrônômica e minimizando riscos de contaminação ambiental.

Depois de aplicados, os herbicidas passam por processos de degradação, transporte e retenção, os quais são determinados por fatores físicos e químicos que afetam sua dinâmica na palha. Entre esses fatores estão o tempo de contato entre o herbicida e a palha, a quantidade de precipitação, o tipo e volume de palha presente, o estágio de decomposição da matéria orgânica, além das propriedades específicas de cada herbicida (Sw , Kow , pKa , Koc , $t^{1/2}$) (Takeshita et al., 2019).

A correlação entre as características físico-químicas dos solos e os coeficientes de adsorção de herbicidas residuais também podem fornecer informações relativas ao seu residual e até servir como base para justificar a eficácia ou a ineficácia desses produtos no controle de plantas daninhas (Christoffoleti et al., 2009). Nesse sentido, a correlação dos coeficientes de adsorção com a porcentagem de matéria orgânica do solo indica que solos com maiores porcentagens de matéria orgânica podem resultar em maiores coeficientes de adsorção, dependendo das características físico-químicas do herbicida. Essa dinâmica influencia diretamente na eficácia de controle de plantas daninhas.

Além disso, a eficácia dos herbicidas residuais está fortemente relacionada à ocorrência de precipitações após a aplicação. Segundo estudo realizado por Christoffoleti (2009), a água disponível no solo para o crescimento das plantas e microrganismos tem papel determinante na eficácia dos herbicidas residuais no controle de plantas daninhas. Para que os produtos aplicados ao solo sejam absorvidos pelas plantas daninhas é necessário que ocorra lixiviação do produto aplicado na superfície do solo ou do *mulch* até as estruturas de absorção da planta (raízes, radículas, caulículo, radícula e, raramente, pelas sementes e órgãos de propagação vegetativa).

Contudo, ainda há poucas investigações sobre o comportamento desses herbicidas quando aplicados sobre o *mulch* de *U. ruziziensis*. Nesse sentido, entender como se dá essa interação, levando em conta herbicidas residuais e volumes de precipitação, torna-se crucial para o aprimoramento de práticas agrícolas sustentáveis em pomares cítricos.

3. HIPÓTESE

A eficácia dos herbicidas residuais sulfentrazone, indaziflam e oxyfluorfen, aplicados sobre *mulch* de *U. ruziziensis* é influenciada tanto pelo estágio de decomposição do *mulch* quanto pela quantidade de precipitação recebida após a aplicação.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo geral

Avaliar a eficácia de herbicidas residuais aplicados sobre *mulch* de *U. ruziziensis* em diferentes estágios de decomposição e lâminas de precipitação simulada.

4.2. Objetivos específicos

- (i) Avaliar a eficácia dos herbicidas residuais pela emergência de planta bioindicadora ao longo do tempo, em função dos estágios de decomposição do *mulch* e das lâminas de precipitação simulada;
- (ii) Avaliar o desenvolvimento da planta bioindicadora por meio do acúmulo de biomassa ao final do experimento, como indicativo da eficácia dos tratamentos herbicidas.

5. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação (Figura 1), localizada no Centro de Citricultura Sylvio Moreira - CCSM (Instituto Agrônomo-IAC), em Cordeirópolis- SP, Brasil, nas coordenadas geográficas 22°27'40" S e 47°24'02" O, a uma altitude média de 709 m acima do nível do mar. O clima no local é classificado como CWA subtropical com invernos secos (temperaturas abaixo de 18°C) e verões quentes (temperaturas acima de 22 ° C) e úmidos, de acordo com o sistema de classificação climática de Köppen-Geiger (Alvares, et al. 2013).



Figura 1. Casa de vegetação, localizada no Centro de Citricultura Sylvio Moreira (Instituto Agrônômico-IAC) em Cordeirópolis, São Paulo, 2025.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2 com testemunha (sem herbicida) com cinco repetições. O fator A correspondeu as condições de *mulch* de *U. ruziziensis*: sem *mulch*, *mulch* verde (MV) e *mulch* seco (MS); o fator B, às lâminas de precipitação simuladas: 5 e 20 mm. Cada tratamento herbicida foi avaliado como experimento independente. Os herbicidas utilizados foram: sulfentrazone (BORAL[®], FMC), indaziflam (ALION[®], Bayer) e oxyfluorfen (GALIGAN[®], Adama). Os herbicidas foram selecionados pelo gradiente de Sw , K_{oc} e K_{ow} (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição dos tratamentos com aplicação e características dos herbicidas:

Herbicida	Grupo químico HRAC ¹	Dose* (g ia ha ⁻¹)	Vol. Calda (L ha ⁻¹)	K_{oc} (ml g ⁻¹)	Log K_{ow}	Solubilidade (mg/L)	pKa	P.V. (Pa)
sulfentrazone	E	700	200	43	0,99	110	6,56	1,07x10 ⁻⁷
indaziflam	L	100	200	1000	2,8	2,2	3,5	6,8x10 ⁻⁸
oxyfluorfen	E	1200	200	100000	4,86	0,1	não-ionizável	2,67x10 ⁻⁴

¹Classificação de grupos químicos HRAC (*Herbicide Resistance Action Committee*).

E: Inibidores da Protox; L: Inibidores da síntese de celulose. K_{ow} : coeficiente de partição octanol-água; K_{oc} : coeficiente de participação de carbono orgânico; pKa: logaritmo negativo da constante de dissociação ácida (Ka); P.V.: pressão de vapor (25°C).

*Doses recomendadas para citros.

As unidades experimentais foram constituídas por vasos de polietileno com capacidade para 1,0 L, preenchidos com solo (Figura 2) classificado como Latossolo Vermelho distrófico, de textura argilosa (64,6% de argila, 21,3% de areia e 14,1% de silte), coletado de área experimental do CCSM/IAC, sem histórico de aplicação de herbicidas e isenta de resíduos. O solo foi previamente peneirado e acondicionado nos vasos.



Figura 2. Unidades experimentais constituídas por vasos preenchidos com solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico.

Após o preenchimento dos vasos com Latossolo Vermelho, foram semeadas as plantas bioindicadoras (*Phaseolus vulgaris*) a uma profundidade de 3 cm. As plantas bioindicadoras são espécies vegetais sensíveis aos herbicidas, utilizadas para indicar, por meio da germinação e do desenvolvimento inicial, a presença e a atividade residual dos ingredientes ativos no solo. Em seguida, foi distribuído o mulch de *Urochloa ruziziensis* na dose equivalente a $6,0 \text{ t ha}^{-1}$, seguido da aplicação dos herbicidas sulfentrazone ($700 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), indaziflam ($100 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) e oxyfluorfen ($1200 \text{ g i.a. ha}^{-1}$). Posteriormente, foram simuladas precipitações de 5 e 20 mm para avaliar a influência da chuva na dinâmica dos herbicidas.

A cobertura morta utilizada nos tratamentos foi proveniente de *Urochloa ruziziensis*, empregada sob duas formas: mulch verde (MV) e mulch seco (MS). Para a obtenção do MV, a *U. ruziziensis* foi previamente cultivada em casa de vegetação, colhida e depositada nos vasos imediatamente após o corte. O MS foi obtido a partir do mesmo material, submetido à secagem natural em condições de campo, permanecendo sobre a superfície do solo e exposto à radiação solar, precipitação e às variações de temperatura e umidade, até atingir o estágio de decomposição desejado. Esse procedimento buscou reproduzir as condições normalmente encontradas em sistemas de manejo com roçagem ecológica em pomares de citros. O *mulch* foi distribuído sobre o solo dos vasos conforme os tipos estabelecidos (MS e MV) e na quantidade equivalente a 6 t ha^{-1} , o que corresponde a 6,8 g de MS por vaso, considerando a área superficial do vaso de $0,011 \text{ m}^2$. Para o MV foi considerada uma perda média de 70% da massa durante a secagem, de modo que a quantidade aplicada foi ajustada para 22,7 g de MV por vaso, de forma a representar a mesma proporção de 6 t ha^{-1} em base seca.

Os herbicidas foram aplicados seguindo as suas recomendações (Tabela 1). As aplicações foram realizadas com pulverizador costal pressurizado com CO_2 , equipado com barra de pulverização, com 1 metro de faixa de aplicação, contendo duas pontas tipo leque Teejet® XR 11002 VS, calibrado para volume de 200 L ha^{-1} . A Aplicação foi direcionada para as unidades experimentais a 50 cm da superfície do solo.

Após a aplicação as unidades experimentais foram transferidas para uma estufa equipada com irrigação por nebulizadores Netafim, modelo Coolnet, contendo quatro saídas de pulverização. Uma hora após a aplicação dos tratamentos, foram aplicadas lâminas de água correspondentes a 5 e 20 mm, simulando diferentes intensidades de precipitação (Figura 3).



Figura 3. Precipitação simulada nas unidades experimentais.

A irrigação foi ajustada de modo a simular a lâmina de precipitação desejada, com vazão média de 1,55 mL/min. A lâmina aplicada foi monitorada em termos de milímetros por hora, e o tempo necessário para atingir cada lâmina foi calculado com base na relação:

$$\text{Tempo relativo (min)} = \text{mm desejado} / \text{Lâmina (mm/h)} \times 60$$

Foram calculados os valores utilizados e os tempos correspondentes de aplicação (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros de irrigação e tempos de aplicação para simulação de diferentes lâminas de precipitação.

Área do vaso (m²)	Lâmina ml/min	Lâmina mm/h	Lâmina desejada (mm)	Tempo (min)
0,011	1,55	0,137	5	36
0,011	1,55	0,137	20	146

Dessa forma, para a lâmina de 5 mm o tempo de aplicação foi de 36 minutos, enquanto para a lâmina de 20 mm o tempo foi de 146 minutos, garantindo a

uniformidade e a precisão da simulação da precipitação sobre as unidades experimentais.

O percentual de controle obtido pelos herbicidas foi estimado com base nas avaliações de emergência das plantas bioindicadoras realizadas aos 7, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) comparando-se o número de plantas emergidas em cada tratamento em relação à testemunha, utilizando a fórmula:

$$\text{Controle (\%)} = 100 \times \left[\left(\frac{\text{Testemunha} - \text{Tratamento}}{\text{Testemunha}} \right) \right]$$

Aos 28 DAA, a parte aérea das plantas bioindicadoras foi coletada, e a biomassa seca foi obtida após secagem em estufa a 60 ± 3 C por 72 horas. Para os dados referentes à biomassa foi realizada a redução da biomassa seca em porcentagem (%) em relação à testemunha (sem aplicação de herbicida) conforme a seguinte fórmula:

$$X (\%) = 100 - \left[\left(\frac{m \text{ rep trat} \times 100}{m \bar{x} \text{ test}} \right) \right]$$

Onde: X= redução percentual do tratamento; m= massa (g); Trat= tratamento; $\bar{X}$ = média; Test = testemunha.

A análise dos dados foi realizada individualmente para cada herbicida. Todos os dados em porcentagem foram transformados em arcosseno (raiz x/100) além disso os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($\alpha = 0,05$), utilizando-se software R (v 4.4.1) (R Core Team, 2024).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No controle da emergência do feijão os resultados mostraram que o sulfentrazone apresentou baixa eficácia de controle da emergência em todas as condições avaliadas (Figura 4). Aos 7 dias após a aplicação (7 DAA), observou-se diferença significativa entre os tratamentos com *mulch* seco (MS) e *mulch* verde (MV), na condição de precipitação simulada de 5 mm, sendo o maior controle de emergência no MV. Para as demais épocas de avaliação (14, 21 e 28 DAA), não houve diferenças significativas entre MS, MV e ausência de *mulch* (S/M). Em todas as épocas de avaliação não houve diferença entre as lâminas de 5 e 20 mm (Figura 4).

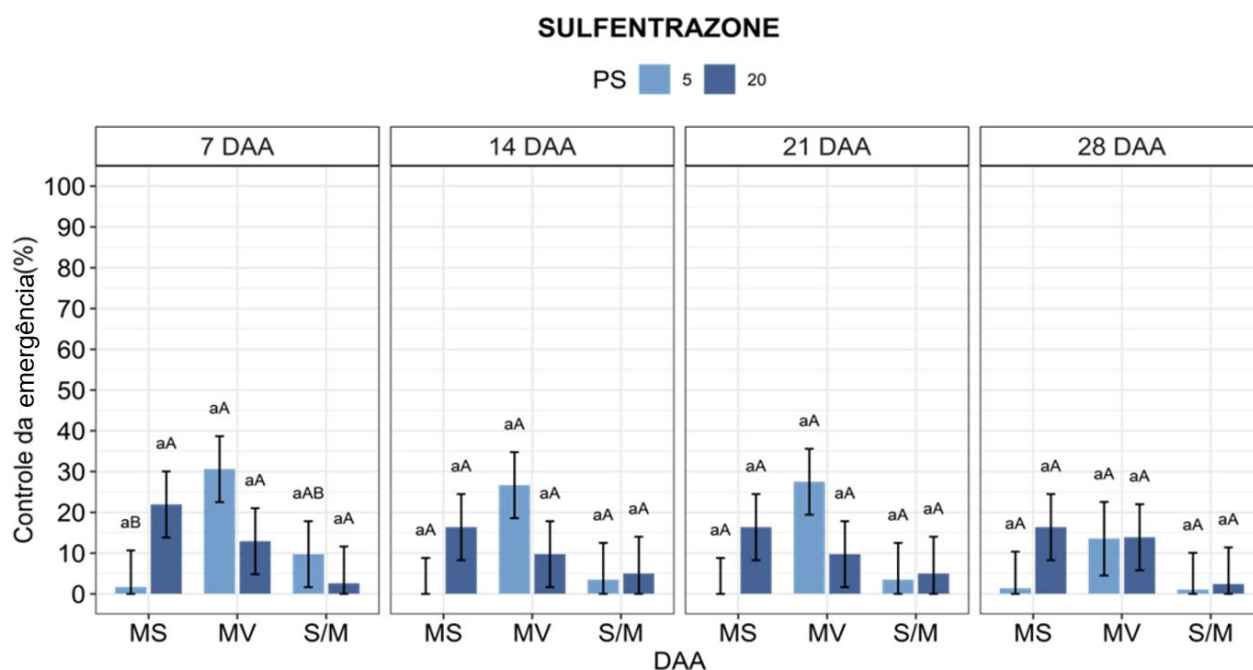


Figura 4. Percentual de controle da emergência de feijão (*Phaseolus vulgaris*) sob efeito do herbicida sulfentrazone, aos 7, 14, 21, 28 DAA (dias após aplicação), aplicados sob precipitação simulada (PS) de 5 e 20mm, sobre solo com *mulch* seco (MS), *mulch* verde (MV) e sem *mulch* (S/M). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%), minúsculas na comparação entre as precipitações, e maiúsculas na comparação entre as condições de *mulch*, dentro de cada data de avaliação.

Considerando as propriedades físico-químicas do sulfentrazone, esse comportamento pode ser explicado principalmente pela sua alta solubilidade em água e baixa sorção ao solo, características que favorecem a lixiviação do herbicida. Em condições de pH ~ 6, a solubilidade relatada é de cerca de 110 mg L⁻¹ e o coeficiente

de sorção ao solo (Koc) é baixo (43 mL g^{-1}), indicando fraca retenção pelo solo e, consequentemente, elevada mobilidade vertical (Silva, 2023). Na redução de biomassa das plantas de feijão não houve diferenças significativas em relação aos parâmetros testados (Figura 5).

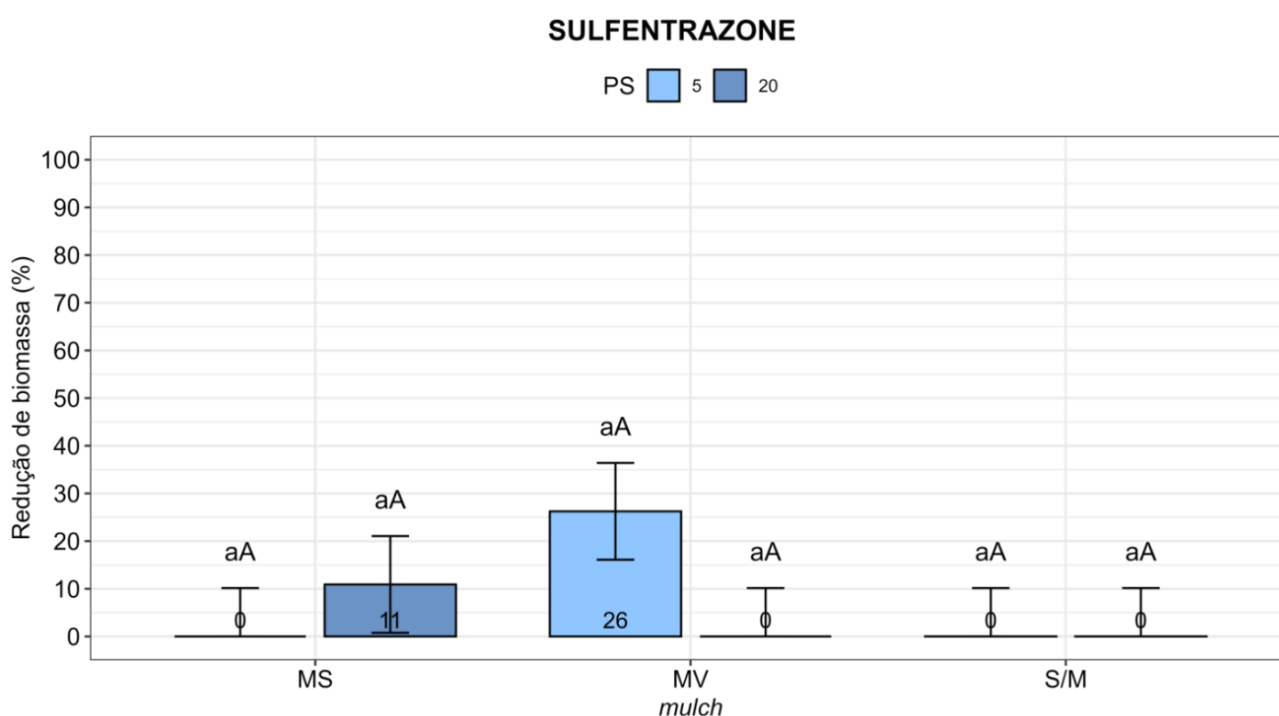


Figura 5. Redução percentual de biomassa seca de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em relação à testemunha, sob efeito do herbicida sulfentrazone, aos 28 DAA (dias após aplicação), aplicados sob precipitação simulada de 5 e 20mm, sobre solo com de *mulch* seco (MS), *mulch* verde (MV) e sem *mulch* (S/M). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%), minúsculas na comparação entre as precipitações, e maiúsculas na comparação entre as condições de *mulch*.

Estudos de sorção conduzidos por Freitas, et al. (2014) demonstram que o sulfentrazone apresenta uma afinidade relativamente baixa pelos constituintes orgânicos do solo, especialmente quando comparado a herbicidas com Koc mais elevado. A baixa sorção implica que uma maior proporção da molécula permanece na solução do solo, condição que, aliada à sua elevada solubilidade, promove o transporte vertical mesmo após volumes moderados de precipitação (Freitas et al., 2014). Assim, nas condições avaliadas, tanto a lâmina de 5 mm quanto a de 20 mm podem ter sido suficientes para iniciar o processo de lixiviação, reduzindo a quantidade do herbicida presente na zona de emergência.

Faustino et al. (2015), reforçam esse comportamento, indicando que o herbicida apresenta comportamento variável no perfil do solo, podendo ser lixiviado para

camadas mais profundas dependendo das características físicas do solo e da quantidade de água aplicada. A pesquisa demonstra que, embora o sulfentrazone apresente mobilidade moderada, sua lixiviação pode ocorrer especialmente em solos de menor capacidade de retenção (Faustino et al., 2015).

O indaziflam apresentou percentuais de controle elevado, porém com respostas distintas conforme a condição de *mulch* e as precipitações simuladas (Figura 6). No *mulch* seco, a lâmina de 20 mm resultou em maiores percentuais de controle, dos 14 aos 28 DAA, esses resultados indicam que volumes maiores de precipitação favoreceram a eficácia do indaziflam quando aplicado sobre *mulch* seco, mantendo o controle acima de 80% nas avaliações finais.

Na lâmina de 5 mm, a ausência de *mulch* (S/M), proporcionou maiores percentuais de controle nas últimas avaliações (21 e 28 DAA) em relação ao *mulch* seco (MS) (Figura 6). Assim, a aplicação do indaziflam diretamente sobre o solo favorece sua eficácia sob menores volumes de precipitação, resultando em melhor desempenho na ausência de cobertura vegetal, evidenciando que a presença de *mulch* pode atuar como barreira à disponibilidade do herbicida, especialmente sob menores lâminas de chuva.

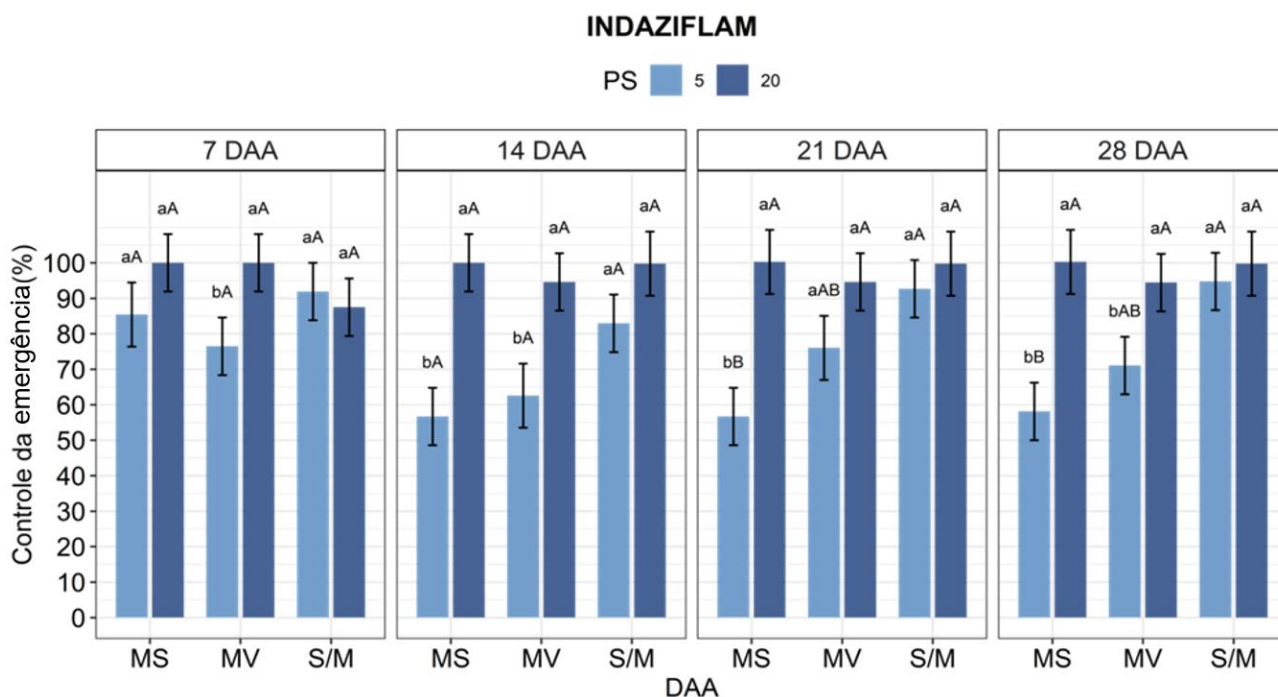


Figura 6. Percentual de controle da emergência de feijão (*Phaseolus vulgaris*) sob efeito do herbicida indaziflam, aos 7, 14, 21, 28 DAA (dias após aplicação), aplicados sob precipitação simulada (PS) de 5 e 20mm, sobre solo com *mulch* seco (MS), *mulch* verde (MV) e sem *mulch* (S/M). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%), minúsculas na comparação entre as precipitações, e maiúsculas na comparação entre as condições de *mulch*, dentro de cada data de avaliação.

No *mulch* verde, observou-se diferença entre as lâminas de 5 e 20 mm ao longo das avaliações, sendo que a lâmina de 20 mm resultou em maiores percentuais de controle da emergência aos (7, 14 e 28 DAA) (Figura 6). De modo semelhante ao observado no *mulch* seco, volumes mais elevados de precipitação favoreceram a eficácia do herbicida, possivelmente em função da maior incorporação do produto no solo. Apesar de ambas as lâminas apresentarem elevada eficácia, com níveis de controle geralmente superiores a 80%, a lâmina de 20 mm manteve desempenho superior ao longo do período experimental. Ademais em relação ao resultado da redução de biomassa, tanto para *mulch* seco quanto *mulch* verde, é observado maior redução dentro da precipitação de 20 mm.

Em relação à redução de biomassa das plantas de feijão houve diferença entre as condições de *mulch*, entre o sem *mulch* com o MV e MS apresentando maior redução dentro de 5 mm. Quando observadas as condições de *mulch* (MS e MV) houve maior redução de biomassa na lâmina de 20 mm (Figura 7).

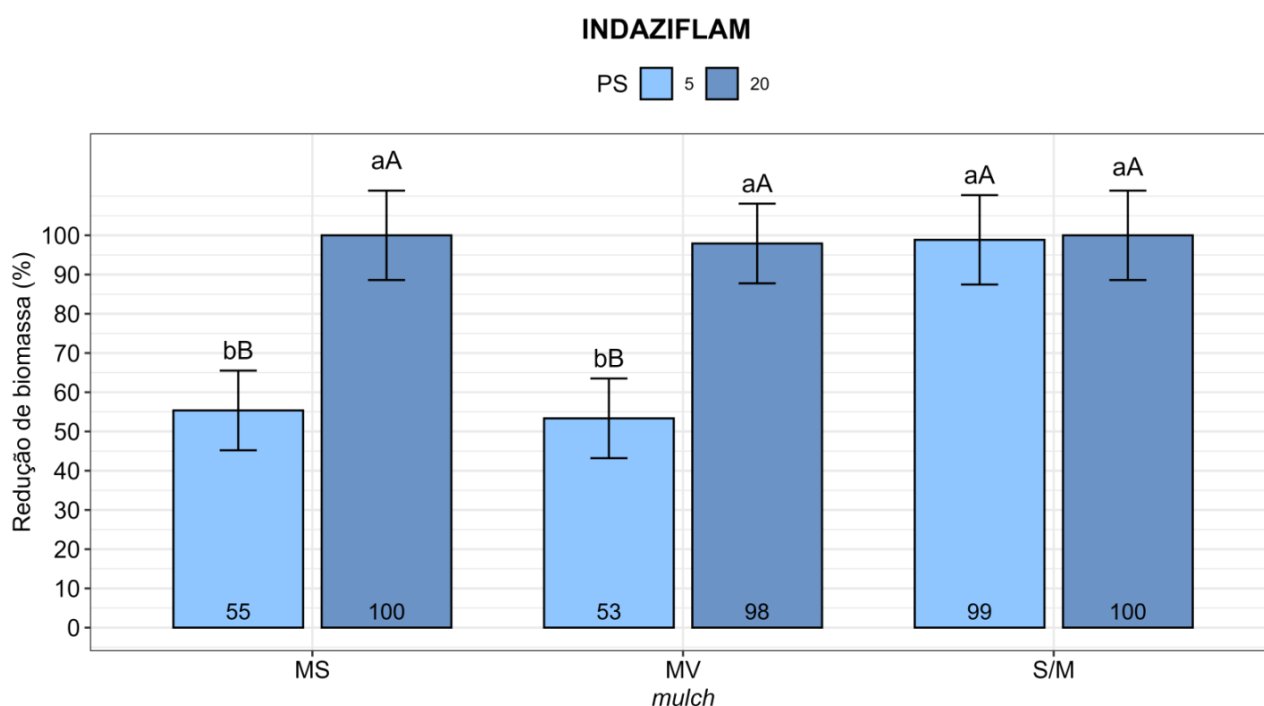


Figura 7. Redução percentual de biomassa seca do feijão (*Phaseolus vulgaris*) em relação à testemunha, sob efeito do herbicida indaziflam, aos 28 DAA (dias após aplicação), aplicados sob precipitação simulada de 5 e 20mm, sobre solo com de *mulch* seco (MS), *mulch* verde (MV) e sem *mulch* (S/M). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%), minúsculas na comparação entre as precipitações, e maiúsculas na comparação entre as condições de *mulch*.

Souza (2022) demonstra que o indaziflam possui baixa mobilidade e retenção moderada pelos coloides do solo sendo o teor de matéria orgânica principal atributo a influenciar a sorção, indicando que sua dinâmica no solo é fortemente influenciada pela umidade inicial e pela estrutura física do ambiente de aplicação. Portanto, a interação entre o tipo de *mulch* e as precipitações influenciou significativamente a eficácia do indaziflam. O comportamento é compatível com o efeito de interceptação da palhada seca e verde, que exerce papel de barreira física à translocação inicial do herbicida. Estudos conduzidos com palha de cana-de-açúcar relatam que resíduos vegetais (palhadas) possuem elevada capacidade de reter herbicidas na superfície, exigindo maior volume de precipitação para permitir sua transferência ao solo (Monquero et al., 2014). Silva et al. (2019) observaram que, na presença de palha, a eficácia do indaziflam aumenta conforme maior é a precipitação aplicada após a aplicação, reforçando que a liberação do herbicida depende da capacidade da água de romper a barreira formada pela palhada.

O oxyfluorfen apresentou percentuais de controle de emergência baixos a moderados (Figura 8). Nas últimas épocas de avaliação (21 e 28 DAA), a precipitação

de 20 mm proporcionou controle maior em comparação à lâmina de 5 mm na condição de *mulch* verde (MV). Esse comportamento evidencia que o aumento da precipitação favoreceu a eficácia do herbicida apenas em estágios mais tardios. Com relação a redução da biomassa das plantas de feijão, para o oxyfluorfen, apenas para o MV a precipitação de 20 mm teve um maior percentual de redução em relação a de 5mm. (Figura 9).

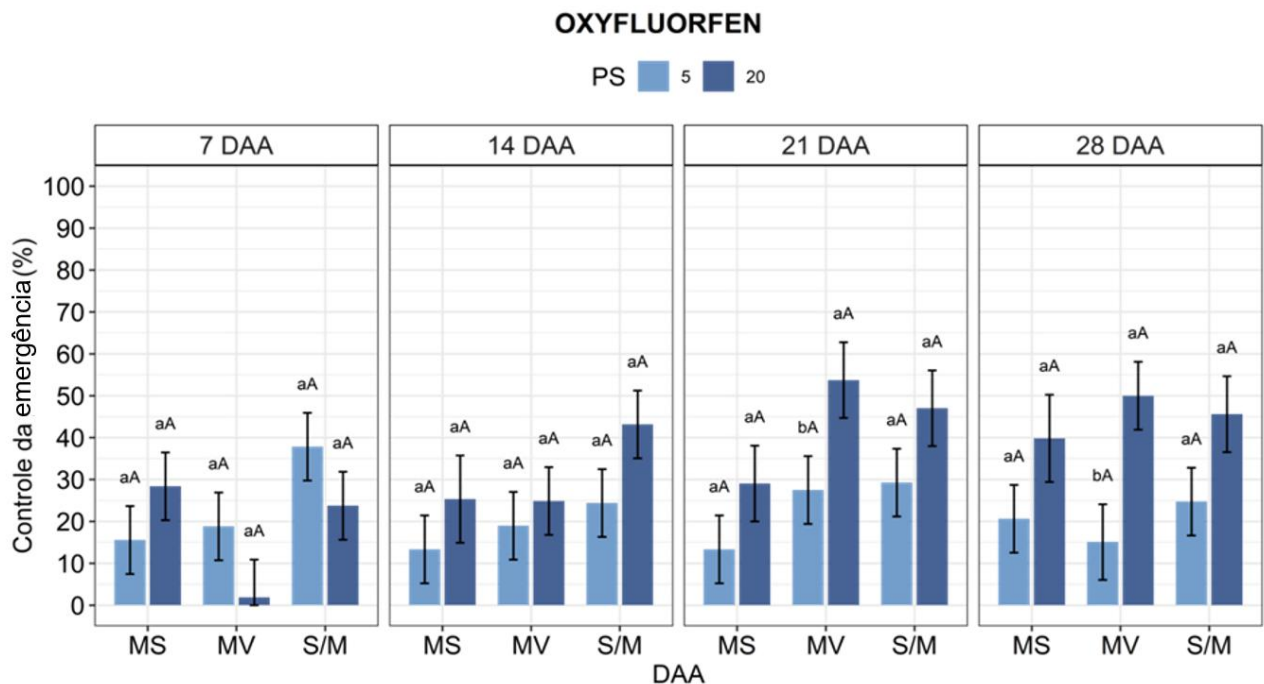


Figura 8. Percentual de controle da emergência de feijão (*Phaseolus vulgaris*) sob efeito do herbicida oxyfluorfen, aos 7, 14, 21, 28 DAA (dias após aplicação), aplicados sob precipitação simulada (PS) de 5 e 20mm, sobre solo com *mulch* seco (MS), *mulch* verde (MV) e sem *mulch* (S/M). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%), minúsculas na comparação entre as precipitações, e maiúsculas na comparação entre as condições de *mulch*, dentro de cada data de avaliação.

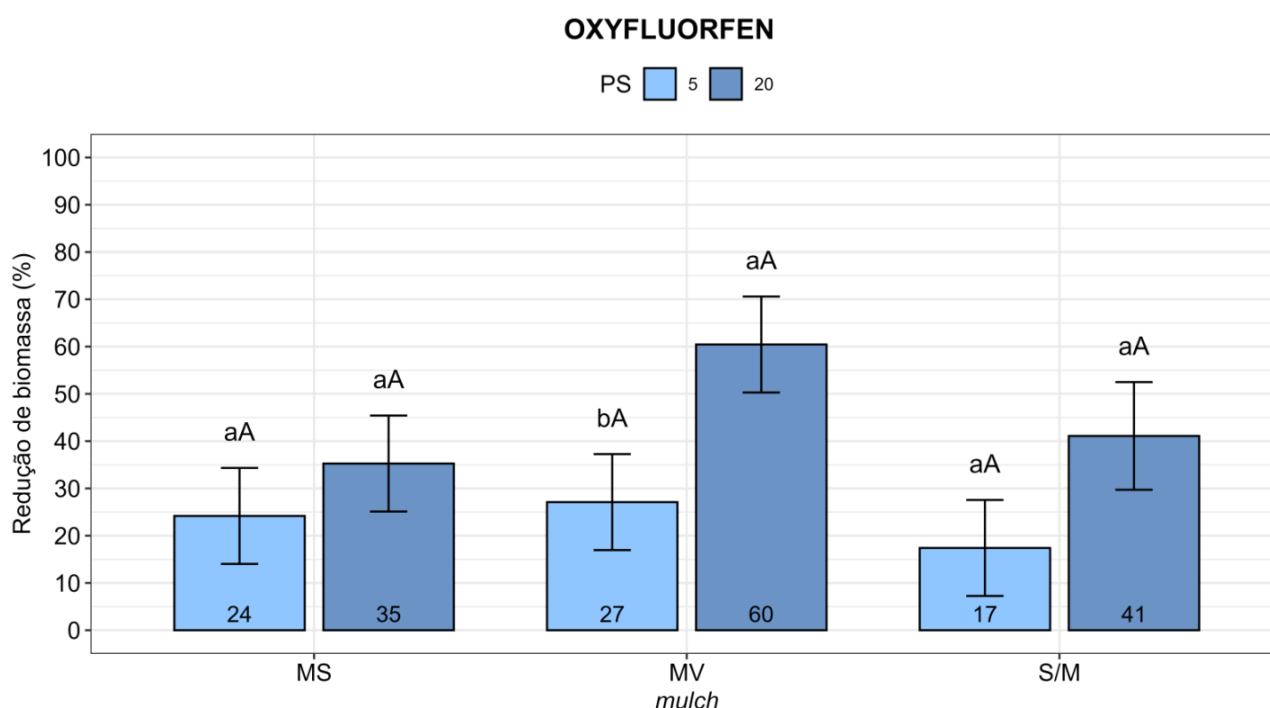


Figura 9. Redução percentual de biomassa seca do feijão (*Phaseolus vulgaris*) em relação à testemunha, sob efeito do herbicida oxyfluorfen, aos 28 DAA (dias após aplicação), aplicados sob precipitação simulada de 5 e 20mm, sobre solo com de *mulch* seco (MS), *mulch* verde (MV) e sem *mulch* (S/M). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%), minúsculas na comparação entre as precipitações, e maiúsculas na comparação entre as condições de *mulch*.

As diferenças observadas entre os tratamentos são compatíveis com o comportamento característico físico-químico do oxyfluorfen, que apresenta elevada sorção à matéria orgânica e forte retenção na superfície do solo. De acordo com estudos de mobilidade, o herbicida tende a permanecer concentrado nos primeiros centímetros do perfil, mesmo após a aplicação de lâminas de água, apresentando lixiviação mínima e baixa movimentação vertical (Melo et al., 2010). Essa característica limita sua disponibilidade na zona de emergência, especialmente quando aplicado sobre resíduos vegetais.

A elevada adsorção do oxyfluorfen à fração coloidal do solo e à matéria orgânica contribui diretamente para sua baixa biodisponibilidade, sobretudo em ambientes com maior presença de palhada. Em solos tropicais brasileiros, foi demonstrado que o herbicida permanece predominantemente retido na superfície, com baixa lixiviação independentemente da textura e do teor de matéria orgânica (Pacheco et al., 2022).

Nesse contexto, a maior eficácia observada sob lâmina de 20 mm nas condições com *mulch*, especialmente nas avaliações mais tardias, pode estar associada a uma leve redistribuição do herbicida da palhada para o solo, aumentando

sua disponibilidade na interface solo-semente ao longo do tempo. Por outro lado, a lâmina de 5 mm não foi suficiente para promover a translocação do herbicida do *mulch* para o solo, limitando sua ação sobre a emergência. Ainda assim, de forma geral, a combinação entre forte adsorção superficial, baixa mobilidade e elevada retenção à matéria orgânica explica a limitada eficácia do oxyfluorfen e a dependência de maiores volumes de precipitação para promover incrementos no controle.

Em relação à redução de biomassa, observou-se comportamento semelhante ao verificado para o controle de emergência, com maior eficácia observada sob lâmina de 20 mm. Esse resultado reforça que maiores volumes de precipitação favorecem a translocação do herbicida da palhada para o solo, aumentando sua disponibilidade e intensificando seus efeitos sobre o desenvolvimento das plantas.

7. CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que a interação entre o *mulch* de *Urochloa ruziziensis* e a precipitação influencia a eficácia dos herbicidas residuais em função de suas propriedades físico-químicas. O sulfentrazone apresentou melhor potencial de posicionamento em períodos de menor precipitação, devido à sua maior solubilidade e mobilidade, reduzindo o risco de deslocamento excessivo no perfil do solo. O indaziflam apresentou comportamento intermediário, sendo favorecido pela ocorrência de precipitação após a aplicação, necessária para sua transposição da palhada ao solo e manutenção de elevados níveis de controle. Já o oxyfluorfen, por apresentar elevada adsorção à palhada e baixa mobilidade, mostrou melhor desempenho sob maiores lâminas de chuva, que favoreceram sua redistribuição até a zona de germinação. Dessa forma, o posicionamento desses herbicidas deve considerar as características físico-químicas de cada molécula, a presença e o estágio de decomposição do *mulch* e a previsão de precipitação após a aplicação, visando maximizar a eficiência do controle em sistemas com roçagem ecológica em pomares de citros.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROSTAT. Estatísticas de comércio exterior do agronegócio brasileiro. **MAPA**. 2024
- ALVARES C. A., STAPE J. L., SENTELHAS P. C., DE MORAES G., LEONARDO J. E SPAROVEK G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v.22, n.6, p.711-728. 2013.
- ARANTES, A. C. C. *et al.* Implication of *Urochloa* spp. Intercropping and Conservation Agriculture on Soil Microbiological Quality and Yield of Tahiti Acid Lime in Long Term Orchard Experiment. **Agriculture**, v. 10, n. 11, p. 491, 22 out. 2020.
- ARAÚJO NETO, V. F. D. Manejo integrado das plantas daninhas na cultura da laranja lima (*Citrus aurantifolia*). 2023.
- AZEVEDO, F. A., DE ALMEIDA, R. F., MARTINELLI, R., PRÓSPERO, A. G., LICERRE, R., DA CONCEIÇÃO, P. M., ARANTES, A. C. C., DOVIS, V. L., BOARETTO, R. M. E MATTOS JR., D. No-tillage and high-density planting for Tahiti acid lime grafted onto Flying Dragon trifoliolate orange. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 108, 2020.
- BAPTISTELLA, J. L. C. *et al.* *Urochloa* in Tropical Agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, 5 ago. 2020.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção agropecuária: laranja. **IBGE**, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/laranja/br>>.
- CHRISTOFFOLETI, Pedro Jacob et al. Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba: CP, v. 2, p. 72, 2009.
- DA SILVA PACHECO, Lara Cristina Pereira et al. Biodisponibilidade de oxyfluorfen em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, p. e73107-e73107, 2022.
- DILLE, J. A.; CHISM, L. I.; SASSENATH, G. F. Using Cover Crops to Suppress Weeds and Improve Soil Health. **Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports**, v. 7, n. 2, 1 jan. 2021.
- EMBRAPA. **Plantas Daninhas, Parque Estação Biológica**, Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-plantas-daninhas/sobre-o-tema>.
- FAOSTAT: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Statistical database, 2025.
- FAUSTINO, L. A. et al. Mobilidade do sulfentrazone em solos com diferentes características físicas e químicas. **Planta Daninha**, v. 33, p. 795-802, 2015.

- FREITAS, M. A. M. et al. Sorção do sulfentrazone em diferentes tipos de solo determinada por bioensaios. **Planta Daninha**, v. 32, p. 385-392, 2014.
- FUNDECITRUS. Estimativa da Safra de Laranja Parque Citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro, 2021.
- FUNDECITRUS. Inventário de árvores do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro: retrato dos pomares em março de 2020. Araraquara: **Fundecitrus**, 2020.
- FURLAN, G. T. Cultura citrícola global e inovação, o caso greening. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2014.
- JABRAN, K. et al. Allelopathy for weed control in agricultural systems. **Crop Protection**, v. 72, p. 57–65, 2015.
- MARTINELLI, R. Manejo sustentável de plantas daninhas em citros: implicações do glyphosate no metabolismo da cultura e estratégias de controle (Doctoral dissertation, INSTITUTO AGRONÔMICO). 2021.
- MARTINELLI, R. et al. Ecological mowing: An option for sustainable weed management in young citrus orchards. **Weed Technology**, v. 31, n. 2, p. 260–268, 1 mar. 2017.
- MELO, C. A. D. et al. Lixiviação de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen no perfil de três solos. **Planta Daninha**, v. 28, p. 385-392, 2010.
- MONQUERO, Patricia Andrea; BRAGA, Erika Nascimento; MALARDO, Marcelo Rafael. Manejo de *Merremia aegyptia* com misturas de herbicidas utilizando diferentes lâminas de água e na presença ou ausência de palha de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 13, n. 2, p. 88-96, 2014.
- MUNHOZ-GARCIA, G. V. et al. Cover Crop Straw Interferes in the Retention and Availability of Diclosulam and Diuron in the Environment. **Agronomy**, v. 13, n. 7, 1 jul. 2023.
- RIBEIRO, J.P.N. E LIMA, M.I.S. Efeitos alelopáticos do óleo essencial da casca da laranja (*Citrus sinensis* L.). **Acta Botânica Brasilica**, 26, 256-259. 2012.
- SILVA, Paulo Vinicius da et al. Efeito da palha de cana-de-açúcar e da precipitação na eficácia de indaziflam. 2019.
- SILVA, Valdevino Pereira. Efeito residual de herbicidas aplicados na pré-emergência: relação entre dose, textura de solo e profundidade. 2023. Tese (Doutorado em

Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Diamantina, 2023.

SOARES, MBB, GALLI, JA, MARTINS, MH, OLIVEIRA, AC, & BIANCO, S. Manejo de plantas na estação seca: interferências na fisiologia e qualidade de frutos de limão persa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 2021

SOUZA, Wendel Magno de. Mobilidade, persistência no solo e eficácia do indaziflam aplicado isoladamente e em mistura com outros herbicidas na cultura da cana-de-açúcar. 2022.

TAKESHITA, V. *et al.* Effect of Organic Matter on the Behavior and Control Effectiveness of Herbicides in Soil. **Planta Daninha**, v. 37, 2019.

TOFOLI, G. R. *et al.* Dinâmica do tebuthiuron em palha de cana-de-açúcar. **Planta daninha**, v. 27, p. 815-821, 2009.

TONIETO, Thiago Antônio Pinheiro; REGITANO, Jussara Borges. Effects of straw decomposition degree on leaching and weed control efficacy of tebuthiuron and hexazinone in green sugarcane harvesting. **Planta Daninha**, v. 32, p. 808-815, 2014.