

**INSTITUTO AGRONÔMICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL**

**CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS EM CITROS  
COM HERBICIDAS RESIDUAIS APLICADOS SOBRE  
A CAMADA DE *MULCH* DE *UROCHLOA RUZIZIENSIS***

**RAFAELA OLIVA DA SILVA**

**Orientador:** Dr. Fernando Alves de Azevedo  
**Coorientador:** Dr. Rodrigo Martinelli  
**Coorientadora:** Dra. Patrícia Andrea Monquero

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, do Instituto Agronômico (IAC), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical, Área de Concentração em Sistemas de Manejo e Qualidade Ambiental (SMQA).

**Campinas, SP  
2026**

Ficha elaborada pela bibliotecária do Seção de Documentação Científica do Instituto Agronômico

S586c Silva, Rafaela Oliva da  
Controle de plantas daninhas em citros com herbicidas residuais aplicados sobre a camada de *Mulch de Urochloa Ruziziensis* / Rafaela Oliva da Silva. Campinas, 2026. 61 fls.

Orientador: Fernando Alves de Azevedo  
Coorientador: Rodrigo Martinelli  
Coorientadora: Patrícia Andrea Monquero  
Dissertação (Mestrado) Agricultura Tropical e Subtropical – Instituto Agronômico

1. Planta de cobertura. 2 Indaziflam. 3. Oxyfluorfen. 4. Sulfentrazone  
5. Roçagem ecológica. I. Azevedo, Fernando Alves de  
II. Martinelli, Rodrigo . III. Monquero, Patrícia Andrea. IV. Título

CDD.631.452



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO  
**AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS**  
**INSTITUTO AGRÔNOMO**



Pós-Graduação – Agricultura Tropical e Subtropical  
Reconhecimento Homologado pela Portaria MEC Nº 609 de 14/03/2019 - D.O.U. 18/03/2019

## ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aos 24 de março de 2026, às 09h00, reuniu-se a banca examinadora homologada pelo Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, composta pelos membros abaixo listados visando à defesa de dissertação de mestrado de Rafaela Oliva da Silva, para obtenção do título de "MESTRE", conforme Processo SAA nº PRT4322/2024-16. A sessão presidida pelo Prof. Dr. Fernando Alves de Azevedo, orientador da aluna, foi realizada em sessão pública aberta. Iniciados os trabalhos, a candidata submeteu-se ao exame de sua dissertação, intitulada "CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS EM CITROS COM HERBICIDAS RESIDUAIS APLICADOS SOBRE A CAMADA DE MULCH DE *UROCHLOA RUZIZIENSIS*". Terminado o exame, procedeu-se ao julgamento, cujo resultado foi o seguinte:

Prof. Dr. Fernando Alves de Azevedo - IAC

APROVADA (X) REPROVADA ( )

Prof. Dr. Valdemir Antonio Peressin - IAC


APROVADA (X) REPROVADA ( )

Profª. Drª. Elza Alves Corrêa - UNESP

APROVADA (X) REPROVADA ( )

Apurados os resultados, constatou-se que a candidata foi habilitada, fazendo jus, portanto, ao título de "MESTRE EM AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL", na área de concentração: Sistema de Manejo e Qualidade Ambiental, do que, para constar, lavrou-se a presente ata, assinada pelos membros da comissão examinadora:

  
Prof. Dr. Fernando Alves de Azevedo - IAC

  
Prof. Dr. Valdemir Antonio Peressin - IAC

  
Profª. Drª. Elza Alves Corrêa - UNESP

## **DEDICATÓRIA**

À minha mãe, pelo apoio constante e por sempre acreditar em mim. Você é minha base, meu incentivo e minha maior inspiração.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança nos momentos mais desafiadores desta caminhada.

Aos meus pais, Eliana Oliva e Roberto Antonio da Silva, pelo apoio e incentivo ao longo de toda trajetória acadêmica. Cada palavra de encorajamento foi essencial para que eu chegasse até aqui.

Ao meu noivo, Rafael Dantas Asbahr Tavares, pelo apoio constante, pela paciência e pelo encorajamento.

Ao meu orientador, Fernando Alves de Azevedo, e aos coorientadores Rodrigo Martinelli e Patricia Andrea Monquero, pela confiança, orientação e ensinamentos, que contribuíram não apenas para a realização deste trabalho, mas também para minha formação profissional e pessoal.

Ao Laboratório de Fitossanidade do Centro de Citricultura Sylvio Moreira e aos colegas, pela colaboração nas atividades experimentais e pelo companheirismo durante os dias de trabalho.

Ao Centro de Citricultura Sylvio Moreira do Instituto Agrônomo (CCSM/IAC) e ao Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical e Subtropical do IAC, pela estrutura oferecida e pelas oportunidades de aprendizado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa, processo nº 88887.949631/2024-00, que possibilitou a realização deste trabalho.

## SÚMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. HIPÓTESE .....	2
3. OBJETIVO .....	3
3.1.Objetivo específico .....	3
4. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
4.1.Importância da citricultura.....	3
4.2.Interferência das plantas daninhas na cultura dos citros.....	5
4.3.Plantas de cobertura em sistemas agrícolas .....	7
4.3.1.Plantas de cobertura em sistemas perenes e na citricultura .....	10
4.3.2. <i>Urochloa ruziziensis</i> como planta de cobertura e o manejo por roçagem ecológica em citros .....	13
4.4.Classificação dos herbicidas e comportamento no ambiente .....	15
4.4.1.Classificação dos herbicidas quanto ao mecanismo de ação .....	15
4.4.2.Classificação quanto à seletividade e época de aplicação .....	16
4.4.3.Absorção e translocação dos herbicidas nas plantas .....	16
4.4.4.Comportamento dos herbicidas no solo .....	17
4.5.Influência da palhada na dinâmica de herbicidas no solo .....	18
4.6.Herbicidas residuais no manejo de plantas daninhas.....	20
4.6.1.Sulfentrazone .....	24
4.6.2.Indaziflam .....	24
4.6.3.Oxyfluorfen .....	25
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
5.1.Área experimental e instalação do ensaio .....	25
5.2.Condições meteorológicas durante o período experimental.....	28
5.3.Levantamento fitossociológico.....	30
5.4.Deposição da biomassa.....	31
5.5.Controle de plantas daninhas .....	32
5.6.Desenvolvimento das plantas de citros.....	32
5.7.Análise dos Resultados .....	32
6. RESULTADOS .....	32
6.1.Levantamento fitossociológico.....	32
6.2.Deposição da biomassa.....	33
6.3.Controle de plantas daninhas.....	35
6.3.1.Primavera ano 1 (2024) .....	35
6.3.2.Verão ano 1 (2024/25).....	36
6.3.3.Primavera ano 2 (2025) .....	38
6.3.4.Verão ano 2 (2025/26).....	40
6.4.Desenvolvimento das plantas de citros.....	42
7. DISCUSSÃO .....	43
7.1.Efeito dos herbicidas no controle de plantas daninhas .....	43
7.2.Efeito dos herbicidas nas plantas de citros .....	47
7.3.Considerações finais .....	48
8. CONCLUSÃO.....	50
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	51
ANEXO A .....	58

## Controle de plantas daninhas em citros com herbicidas residuais aplicados sobre a camada de *mulch* de *Urochloa ruziziensis*

### RESUMO

A citricultura é uma atividade econômica importante em muitos países, especialmente no Brasil, que é o maior produtor de laranja doce e exportador de suco de laranja concentrado congelado. No entanto, a competição imposta pelas plantas daninhas reduz a produtividade e lucratividade da cultura. A utilização de *mulch* (cobertura morta) de plantas de cobertura, como a *Urochloa ruziziensis*, é uma estratégia que auxilia na redução da emergência de plantas daninhas, mas sua interação com herbicidas residuais é pouco conhecida. Assim, parte-se da hipótese de que o *mulch* de *U. ruziziensis* pode influenciar a dinâmica e a eficácia de herbicidas residuais no manejo de plantas daninhas em pomares de citros, em função da interação entre as características físico-químicas dos herbicidas e a presença de palha. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia de herbicidas residuais com diferentes características físico-químicas aplicados sobre *mulch* de *U. ruziziensis* no manejo de plantas daninhas em pomares de citros. O experimento seguiu um delineamento em blocos aleatorizados, em parcelas subdivididas, avaliando a interação entre roçagens ecológica (ECO) e convencional (CONV) e a aplicação de herbicidas (sulfentrazone – 700 g ia ha<sup>-1</sup>, indaziflam – 100 g ia ha<sup>-1</sup>, oxyfluorfen – 1200 g ia ha<sup>-1</sup> e testemunha sem herbicida) no controle de plantas daninhas. O experimento foi conduzido durante dois anos agrícolas, contemplando aplicações na primavera e verão. O controle de plantas daninhas foi estimado por meio da densidade (plantas daninhas m<sup>-2</sup>). Adicionalmente, realizou-se análise de componentes principais (ACP) para avaliar o padrão multivariado da comunidade infestante em função dos manejos de roçagem e herbicidas. Como resultados principais, observou-se que a eficácia dos herbicidas variou em função da presença de *mulch* e das características físico-químicas das moléculas. Herbicidas com menor lipofilicidade e adsorção à matéria orgânica, associados à maior solubilidade em água, como sulfentrazone e indaziflam, apresentaram menor influência da presença de *mulch*, mantendo desempenho semelhante entre os manejos de roçagem na maioria das épocas experimentais. Em contraste, o oxyfluorfen apresentou redução de eficácia no manejo com roçagem ecológica, possivelmente devido à sua maior lipofilicidade, maior adsorção à matéria orgânica e menor solubilidade, favorecendo sua retenção na camada de *mulch*. Além disso, houve diferenças na composição da comunidade infestante, indicando associação entre determinadas espécies, herbicidas e *mulch*. Conclui-se que, nas condições deste estudo, o *mulch* proveniente de *U. ruziziensis* influencia a eficácia de herbicidas residuais no manejo de plantas daninhas em pomares de citros, em função da interação entre a palha e as propriedades físico-químicas dos produtos. Assim, a associação entre roçagem ecológica e herbicidas residuais pode constituir uma estratégia viável para o manejo de plantas daninhas em pomares de citros, desde que consideradas as características físico-químicas dos herbicidas utilizados.

**Palavras-chave:** Planta de cobertura, indaziflam, oxyfluorfen, sulfentrazone, roçagem ecológica.

## Weed control in citrus with residual herbicides applied over a *mulch* layer of *Urochloa ruziziensis*

### ABSTRACT

Citrus production is an important economic activity in many countries, especially in Brazil, which is the world's largest producer of sweet oranges and exporter of frozen concentrated orange juice. However, weed competition reduces crop productivity and profitability. The use of mulch from cover crops, such as *Urochloa ruziziensis*, is a strategy that helps reduce weed emergence, although its interaction with residual herbicides remains poorly understood. Thus, the hypothesis of this study was that *U. ruziziensis* mulch may influence the dynamics and efficacy of residual herbicides in weed management in citrus orchards, depending on the interaction between herbicide physicochemical properties and the presence of mulch. Therefore, the objective of this study was to evaluate the efficacy of residual herbicides with different physicochemical characteristics applied over *U. ruziziensis* mulch for weed management in citrus orchards. The experiment was conducted in a randomized complete block design with split plots, evaluating the interaction between ecological mowing (ECO) and conventional mowing (CONV), and herbicide application (sulfentrazone – 700 g a.i. ha<sup>-1</sup>, indaziflam – 100 g a.i. ha<sup>-1</sup>, oxyfluorfen – 1200 g a.i. ha<sup>-1</sup>, and an untreated control) on weed control. The experiment was carried out over two growing seasons, including applications in spring and summer. Weed control was estimated based on weed density (plants m<sup>-2</sup>). Additionally, principal component analysis (PCA) was performed to evaluate the multivariate pattern of the weed community as affected by mowing management and herbicides. The main results showed that herbicide efficacy varied according to the presence of mulch and the physicochemical characteristics of the molecules. Herbicides with lower lipophilicity and adsorption to organic matter, associated with higher water solubility, such as sulfentrazone and indaziflam, were less affected by mulch presence, maintaining similar performance between mowing systems in most experimental periods. In contrast, oxyfluorfen showed reduced efficacy under ecological mowing, possibly due to its higher lipophilicity, greater adsorption to organic matter, and lower solubility, favoring its retention in the mulch layer. Furthermore, differences were observed in weed community composition, indicating associations among specific weed species, herbicides, and mulch presence. It was concluded that, under the conditions of this study, mulch derived from *U. ruziziensis* influences the efficacy of residual herbicides in weed management in citrus orchards due to the interaction between mulch and herbicide physicochemical properties. Therefore, the association between ecological mowing and residual herbicides may represent a viable strategy for weed management in citrus orchards, provided that the physicochemical characteristics of the herbicides are considered.

**Keywords:** Cover crop, indaziflam, oxyfluorfen, sulfentrazone, ecological mowing.

## 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 e exportador mundial de suco de laranja concentrado congelado (Agrostat, 2024; USDA, 2024). O país possui aproximadamente 565 mil hectares de laranjas plantadas, com a maior parte concentrada no cinturão citrícola, que é composto pelos estados de São Paulo e Sul de Minas Gerais (USDA, 2024).

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 em termos de quantidade e qualidade. Além disso, o controle inadequado dessas plantas aumenta os custos, representando um desafio significativo para a produtividade dos agricultores, especialmente em países em desenvolvimento (Labrada, 2003; Abouziena; Haggag, 2016). Plantas daninhas causam perdas de rendimento de aproximadamente 34% nas principais culturas, o que é superior às perdas causadas por pragas e doenças (Jabran *et al.*, 2015).

Embora as opções de controle de plantas daninhas em cultivos perenes, como pomares de citros, sejam mais limitadas devido à presença permanente das árvores, à impossibilidade de preparo frequente do solo e ao risco de danos às raízes e à cultura durante operações mecânicas, práticas integradas e sustentáveis de manejo podem ser eficazes para minimizar a competição das plantas daninhas e melhorar a produtividade das culturas, além de reduzir a necessidade do uso de herbicidas (Matheis; Ricardo Filho, 2005; Mauro *et al.*, 2015). Em pomares de citros no Brasil, a adoção de técnicas de manejo sustentável, como o uso de culturas de cobertura e roçadas ecológicas, reduziu a densidade de plantas daninhas e aumentou a produtividade da cultura em até 52% (Martinelli *et al.*, 2017).

A utilização de plantas de cobertura para produzir uma camada de *mulch* no solo é uma estratégia que oferece múltiplos benefícios, além da redução da emergência de plantas daninhas, promovendo modificação das condições microclimáticas do solo e que incluem benefícios como o controle de erosão, ciclagem de nutrientes, aumento da matéria orgânica do solo, melhor infiltração de água e redução da temperatura da superfície do solo (Hartwig e Ammon, 2002; Dille, Chism e Sassenrath, 2021).

*U. ruziziensis*, é uma gramínea tropical, amplamente utilizada como planta de cobertura devido à sua alta produção de biomassa e capacidade de decomposição lenta, que proporciona

cobertura do solo por longos períodos, além de melhorar a ciclagem de nutrientes e as características físicas do solo, contribuindo para deposição da matéria orgânica e a eficiência do uso de nutrientes (Baptistella *et al.*, 2020). Estudos sobre os efeitos de *U. ruziziensis* em pomares de lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tan.) demonstraram que o uso desta gramínea como planta de cobertura, combinado com roçadas ecológicas, aumentou a atividade microbiana do solo e a produtividade em cerca de 20% ao longo de 10 anos (Arantes *et al.*, 2020).

A presença de diferentes tipos e quantidades de *mulch* pode interferir no manejo das plantas daninhas, principalmente na eficácia dos herbicidas aplicados, agindo como uma barreira física e química que afeta a disponibilidade e o comportamento dos herbicidas no solo (Munhoz-Garcia *et al.*, 2023). A retenção e o transporte dos herbicidas são fortemente influenciados pela matéria orgânica presente no solo, que pode reduzir a mobilidade dos herbicidas e aumentar a degradação no solo, afetando sua disponibilidade e eficácia no controle de plantas daninhas (Takeshita *et al.*, 2019).

Em contrapartida, Martinelli *et al.*, (2022) avaliaram a roçada ecológica combinada com o manejo convencional de herbicidas e constataram que esse manejo integrado foi efetivo no controle de plantas daninhas, promovendo maior deposição de biomassa, incrementos no desenvolvimento vegetativo e produtivo das plantas e do retorno do investimento.

Após a aplicação, herbicidas estão sujeitos a processos de degradação, transporte e retenção. Sorção-dessorção e lixiviação são processos que regulam a concentração de herbicidas na solução do solo. Esses processos são influenciados por fatores físicos e químicos envolvidos na dinâmica dos herbicidas em palha, como tempo de contato herbicida-palha, quantidade de chuva, 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 ( $t_{1/2}$ ) (Correia, 2014; Khalil *et al.*, 2019; Takeshita *et al.*, 2019; Jing *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2023).

No entanto, a dinâmica de herbicidas em *mulch* de *U. ruziziensis* ainda é pouco estudada, ao contrário de outras coberturas, como a palhada de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), sendo necessárias mais informações sobre sua interação com diferentes tipos de herbicidas, incluindo os residuais.

## 2. HIPÓTESE

O *mulch* proveniente de *U. ruziziensis* pode influenciar a dinâmica dos herbicidas residuais no manejo de plantas daninhas em pomares de citros, interferindo no desempenho desses herbicidas, resultante da interação entre as características físico-químicas dos produtos e a presença de palha.

### **3. OBJETIVO**

Avaliar a eficácia de herbicidas residuais aplicados sobre *mulch* de *U. ruziziensis* no manejo de plantas daninhas em pomares de citros.

#### **3.1. Objetivo específico**

Como objetivo específico, buscou-se avaliar o efeito da associação entre o manejo de roçagem ecológica e a aplicação de herbicidas residuais com diferentes características físico-químicas sobre o controle das plantas daninhas.

### **4. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **4.1. Importância da citricultura**

A citricultura constitui uma das cadeias agroindustriais mais relevantes do mundo, com produção global estimada em aproximadamente 45,9 milhões de toneladas de laranja e 38,4 milhões de toneladas de tangerinas e mandarinas na safra 2025/2026, evidenciando sua expressiva importância econômica e alimentar em escala internacional (USDA, 2026). Os citros, com destaque para laranja, limão, lima ácida e tangerina, ocupam posição estratégica no comércio internacional de alimentos, sendo amplamente destinados tanto ao consumo in natura quanto à indústria de sucos, óleos essenciais e outros derivados, que agregam valor às cadeias produtivas agroindustriais (European Commission, 2026). A produção concentra-se majoritariamente em países de clima tropical e subtropical, condição que evidencia a ampla adaptação fisiológica dessas espécies e reforça sua relevância econômica nos mercados agrícolas globais (USDA, 2026).

No cenário internacional, a citricultura apresenta elevado valor econômico, com o comércio mundial de suco de laranja concentrado e congelado superando US\$ 5 bilhões anuais, além de exportações globais de citros frescos que ultrapassam US\$ 15 bilhões por safra, considerando laranjas, tangerinas, limões e limas ácidas (USDA, 2026; FAO, 2024). Embora a

União Europeia não esteja entre os maiores produtores mundiais quando comparada a países como Brasil, China e Estados Unidos, destaca-se como importante mercado consumidor e como produtor regional relevante na bacia do Mediterrâneo, com produção concentrada principalmente na Espanha, que responde por mais de 50% da produção citrícola do bloco e lidera as exportações europeias de tangerinas e mandarinas (USDA, 2025; EUROPEAN COMMISSION, 2026). A produção europeia de citros situa-se em torno de 10 a 11 milhões de toneladas anuais, volume significativamente inferior aos principais produtores globais, mas estratégico para o abastecimento regional e para o comércio intra e extra-bloco (USDA, 2025). Esses dados evidenciam que a citricultura ultrapassa a esfera produtiva primária, estruturando cadeias agroindustriais e comerciais de relevância regional e internacional (USDA, 2026).

No Brasil, a citricultura assume papel de destaque, posicionando o país como o maior exportador mundial de suco de laranja e um dos principais produtores globais da fruta in natura (USDA, 2024). A área cultivada de laranja no território nacional é estimada em aproximadamente 590 mil hectares, concentrando-se majoritariamente no cinturão citrícola que abrange o estado de São Paulo e o Triângulo Mineiro, regiões que reúnem condições edafoclimáticas favoráveis e elevado nível tecnológico de produção (USDA, 2024; EMBRAPA, 2026). A produção brasileira de laranja supera 16 milhões de toneladas por safra, respondendo por cerca de 70% das exportações mundiais de suco de laranja concentrado e congelado, o que resulta em receitas superiores a US\$ 2 bilhões anuais em divisas para o país (USDA, 2024).

A citricultura também desempenha papel fundamental na geração de empregos, tanto no meio rural quanto nos segmentos industriais e logísticos associados à cadeia produtiva. Em 2023, a colheita da laranja e as atividades correlatas foram responsáveis pela criação de 54.232 empregos formais, um crescimento de aproximadamente 8% em relação a 2022, segundo dados do Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (CAGED) compilados pela Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos (CitrusBR, 2024; Savanachi, 2024). Entre julho e dezembro de 2025, período correspondente ao primeiro semestre da safra 2025/26, o setor gerou 23.637 admissões, um aumento de 32,3% ante o mesmo intervalo da safra anterior, demonstrando maior dinamismo no mercado de trabalho agrícola formal (Faverin, 2026).

Do ponto de vista regional, a citricultura contribui para a fixação do produtor no campo e para o desenvolvimento socioeconômico de municípios fortemente dependentes da atividade agrícola (Embrapa, 2026). Em diversas áreas do Brasil, a renda gerada pela produção de citros sustenta economias locais, impulsiona investimentos em infraestrutura e fortalece arranjos

produtivos regionais (Vidal, 2024). Assim, a importância da citricultura extrapola os indicadores produtivos, consolidando-se como atividade estratégica para o desenvolvimento econômico, social e territorial, tanto em escala nacional quanto global (FAO, 2021).

#### **4.2. Interferência das plantas daninhas na cultura dos citros**

A interferência das plantas daninhas na cultura dos citros é compreendida como o conjunto de efeitos negativos decorrentes da convivência dessas espécies com a cultura, envolvendo processos de competição direta e indireta ao longo do ciclo produtivo (Silva *et al.*, 2021). Essa interferência ocorre principalmente pela disputa por recursos essenciais como água, luz, nutrientes e espaço, afetando o desempenho fisiológico e produtivo das plantas cítricas (Fernando; Shrestha, 2023).

Em pomares comerciais, a presença contínua de plantas daninhas altera o equilíbrio do agroecossistema, comprometendo o crescimento vegetativo e a produtividade dos citros (Martinelli *et al.*, 2022). A competição por recursos é considerada o principal mecanismo de interferência, sendo mais intensa nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, quando as plantas apresentam sistema radicular e área foliar ainda pouco, a competição radicular reduz a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas cítricas, especialmente em períodos de déficit hídrico, comprometendo o crescimento vegetativo inicial e o desenvolvimento da copa (Azevedo *et al.*, 2012). A competição por luz interfere na interceptação luminosa e na eficiência fotossintética da cultura, afetando o desempenho fisiológico e o potencial produtivo das plantas (Martinelli *et al.*, 2022).

Além disso, a manutenção de elevada infestação contribui para o aumento do banco de sementes no solo, dificultando o manejo ao longo das safras subsequentes (Azevedo *et al.*, 2014). Em sistemas perenes como os citros, essa interferência contínua pode reduzir a produtividade e comprometer a estabilidade do pomar ao longo dos anos (Carvalho; Lucena; Xavier, 2017).

Martinelli *et al.* (2022), indica que a convivência com plantas daninhas pode resultar em reduções de produtividade que variam de 20% a 80%, dependendo da intensidade da infestação, do período de convivência, densidade de plantio e da idade do pomar. Em situações de alta infestação e ausência de manejo adequado, as perdas podem comprometer significativamente a viabilidade econômica da citricultura (Martinelli *et al.*, 2022).

Em laranja 'Natal', a manutenção de plantas daninhas na linha de plantio esteve associada a redução de aproximadamente 23% no rendimento em comparação a sistemas com

manejo mais eficiente das entrelinhas (Real *et al.*, 2021). Em lima ácida ‘Tahiti’, a convivência com plantas daninhas ao longo da estação seca reduziu a produtividade de 3,41 para 1,58 t ha<sup>-1</sup>, representando queda aproximada de 54%, além de reduzir o número de frutos por planta (Soares *et al.*, 2021). Em pomares jovens de tangerineira, perdas de produtividade entre 25% e 33% foram associadas à elevada pressão de infestação e à ausência de manejo adequado, evidenciando que os impactos econômicos tendem a ser mais severos na fase inicial de formação do pomar (Parajuli *et al.*, 2025).

Nos pomares jovens, os efeitos da interferência são ainda mais pronunciados, uma vez que a competição por água e nutrientes reduz o crescimento inicial das plantas, atrasando a entrada em produção e comprometendo a formação da copa (Carvalho; Lucena; Xavier, 2017). A redução do crescimento vegetativo inicial reflete-se em menor diâmetro de tronco, menor altura das plantas e menor área foliar, fatores diretamente associados ao potencial produtivo futuro do pomar (Zaccheo, 2015). Dessa forma, a interferência precoce das plantas daninhas pode gerar impactos persistentes ao longo da vida útil do pomar (Azevedo *et al.*, 2014).

Em pomares adultos, embora os citros apresentem maior capacidade competitiva, a interferência das plantas daninhas continua relevante, especialmente em períodos de déficit hídrico ou em solos com menor disponibilidade de nutrientes (Martinelli *et al.*, 2022). A competição prolongada pode reduzir a eficiência nutricional das plantas, afetar o pegamento de frutos e reduzir o tamanho e a qualidade da produção colhida (Azevedo *et al.*, 2012). Além disso, a convivência contínua com plantas daninhas pode aumentar a variabilidade produtiva entre safras, comprometendo a estabilidade econômica da atividade citrícola (Vidal, 2024).

Além disso o período crítico de interferência (PCI) das plantas daninhas na cultura dos citros, visando proteger a produtividade, ocorre geralmente entre agosto à março, abrangendo os meses mais quentes e chuvosos, coincidindo com a fase de florescimento e frutificação dos citros (Blanco; Oliveira, 1978).

Outro aspecto relevante da interferência das plantas daninhas na citricultura refere-se à sua influência na dinâmica de insetos e microrganismos associados ao agroecossistema. Diversas espécies de plantas daninhas podem atuar como abrigo e fonte alimentar para insetos fitófagos generalistas, como pulgões (Aphididae), cigarrinhas (Cicadellidae) e cochonilhas (Coccoidea), além de servirem de refúgio para artrópodes que transitam entre as plantas daninhas e a cultura principal (Barroso; Murata, 2021). A presença contínua dessa vegetação nas entrelinhas pode favorecer a manutenção dessas populações ao longo do ano, alterando a pressão biótica exercida sobre o pomar (Martinelli *et al.*, 2022). Além disso, a diversidade

vegetal pode contribuir para a permanência de microrganismos no ambiente, uma vez que o aumento da cobertura vegetal modifica o microclima e as interações ecológicas no sistema produtivo, influenciando a complexidade do manejo fitossanitário em pomares de citros (Lima Filho *et al.*, 2023; Fernando; Shrestha, 2023).

A presença de plantas daninhas contribui diretamente para o aumento dos custos de produção na citricultura, uma vez que exige intervenções frequentes ao longo do ciclo produtivo, incluindo aplicações de herbicidas, roçagens mecânicas e operações de manutenção da entrelinha (Azevedo *et al.*, 2014). Esses procedimentos implicam gastos adicionais com insumos químicos, combustível, depreciação de máquinas e mão de obra, impactando a rentabilidade do sistema produtivo (Vidal, 2024). Em sistemas comerciais de grande escala, o manejo de plantas daninhas pode representar aproximadamente 10% a 20% do custo operacional direto do pomar, variando conforme o nível tecnológico adotado e a intensidade de infestação (Vidal, 2024; USDA, 2024).

Dessa forma, a interferência das plantas daninhas na cultura dos citros deve ser compreendida como um fator limitante da produtividade, da sustentabilidade econômica e da longevidade dos pomares, afetando desde o estabelecimento inicial até a fase adulta da cultura (Martinelli *et al.*, 2022). A compreensão desses impactos é fundamental para o planejamento racional do sistema produtivo e para a redução de perdas associadas à convivência indesejada entre plantas daninhas e citros (Silva *et al.*, 2021).

#### **4.3. Plantas de cobertura em sistemas agrícolas**

O uso de plantas de cobertura em sistemas agrícolas tem sido amplamente reconhecido como estratégia fundamental para a promoção da sustentabilidade dos agroecossistemas, especialmente em contextos de intensificação produtiva e crescente preocupação com a conservação dos recursos naturais. Em ambientes tropicais e subtropicais, caracterizados por elevada intensidade de chuvas, altas temperaturas e acelerados processos de degradação, a manutenção de cobertura vegetal desempenha papel central na proteção e na estabilidade física, química e biológica do solo, reduzindo a erosão, melhorando a estrutura e favorecendo a atividade microbiológica (Redin *et al.*, 2016). Ao contribuir para a conservação do solo e para a ciclagem de nutrientes, as plantas de cobertura promovem maior resiliência do sistema de produção agrícola como um todo (Lima Filho *et al.*, 2023).

Essas plantas são definidas como espécies cultivadas com a finalidade principal de manter o solo protegido e funcional, não tendo como objetivo imediato a colheita econômica,

mas a melhoria integrada dos atributos físicos, químicos, biológicos e agronômicos do sistema de produção (Lima Filho *et al.*, 2023). Embora os benefícios associados às plantas de cobertura sejam amplamente descritos, Carvalho *et al.* (2022) ressaltam que seus efeitos não são universais, dependendo diretamente da espécie utilizada, do manejo adotado e das condições edafoclimáticas locais.

As plantas de cobertura podem ser classificadas segundo critérios botânicos, funcionais e de ciclo de desenvolvimento, sendo as espécies pertencentes às famílias Poaceae (gramíneas) e Fabaceae (leguminosas) os grupos mais empregados nos sistemas agrícolas brasileiros (Bahense *et al.*, 2015). No entanto, esses grupos apresentam comportamentos contrastantes quanto à produção de biomassa, à velocidade de decomposição dos resíduos e aos impactos sobre a dinâmica do solo, o que influencia diretamente sua adequação a diferentes sistemas produtivos (Assis *et al.*, 2016). As gramíneas tropicais, especialmente aquelas do gênero *Urochloa*, destacam-se pela elevada produção de fitomassa e pela maior persistência da palhada na superfície do solo, em função da alta relação carbono/nitrogênio (C/N) dos resíduos vegetais (Ensinas, 2015; Lima Filho *et al.*, 2023). Por outro lado, essa característica pode resultar em liberação mais lenta de nutrientes, exigindo ajustes no manejo da adubação para evitar limitações nutricionais às culturas subsequentes (Pereira *et al.*, 2017).

As leguminosas, por sua vez, apresentam maior capacidade de fixação biológica de nitrogênio e decomposição mais rápida da biomassa, contribuindo para o suprimento desse nutriente às culturas subsequentes (Pereira *et al.*, 2017). A escolha da espécie ou do consórcio de plantas de cobertura deve considerar os objetivos do sistema, as condições edafoclimáticas e o manejo adotado.

No que se refere aos aspectos físicos do solo, há concordância na literatura de que o uso de plantas de cobertura contribui para a redução da erosão hídrica, para o aumento da infiltração de água e para a melhoria da estrutura do solo (Redin *et al.*, 2016). A presença de resíduos vegetais na superfície dissipa a energia das gotas de chuva e reduz o escoamento superficial, minimizando processos de desagregação e selamento do solo (Silveira, 2021). Além disso, o desenvolvimento do sistema radicular das plantas de cobertura favorece a formação de bioporos e a estabilização de agregados, criando condições físicas mais adequadas ao crescimento radicular das culturas comerciais (Silveira, 2021). Entretanto, estudos indicam que esses efeitos são mais evidentes em médio e longo prazo, dependendo da produção contínua de biomassa e da manutenção da palhada sobre o solo (Wolschick *et al.*, 2016).

Sob o aspecto químico, as plantas de cobertura exercem papel central na ciclagem de nutrientes ao absorverem elementos das camadas mais profundas do solo e os redistribuírem na superfície por meio da decomposição dos resíduos vegetais (Casali *et al.*, 2016). Esse processo contribui para a redução de perdas por lixiviação e para o aumento da eficiência do uso de fertilizantes, especialmente em sistemas de manejo conservacionista (Pereira *et al.*, 2017). Contudo, a literatura aponta que palhadas com elevada relação C/N, típicas de gramíneas, podem promover imobilização temporária de nitrogênio, o que deve ser considerado no planejamento do manejo nutricional das culturas (Pereira *et al.*, 2017).

A incorporação contínua de resíduos vegetais ao solo também está associada ao aumento dos teores de matéria orgânica, atributo considerado chave para a qualidade do solo em sistemas agrícolas sustentáveis (Redin *et al.*, 2016). O incremento da matéria orgânica contribui para o aumento da capacidade de troca catiônica, maior retenção de água e melhoria da disponibilidade de nutrientes ao longo do tempo, além de atuar como importante regulador dos processos biogeoquímicos do solo (Silva *et al.*, 2021). Esses efeitos são geralmente observados de forma mais pronunciada em médio e longo prazo, reforçando a importância da adoção contínua de plantas de cobertura.

Os efeitos biológicos associados ao uso de plantas de cobertura também são amplamente relatados, especialmente no que se refere ao estímulo à atividade microbiana e à fauna edáfica (Redin *et al.*, 2016). A manutenção da palhada na superfície do solo cria um ambiente mais estável em termos de temperatura e umidade, favorecendo o desenvolvimento de microrganismos responsáveis por processos essenciais de mineralização e imobilização de nutrientes (Carvalho *et al.*, 2022). Contudo, a resposta da biota do solo à adição de resíduos vegetais pode variar conforme a diversidade de espécies utilizadas e a qualidade do material orgânico, sendo mais limitada em sistemas com baixa diversidade de plantas de cobertura (Redin *et al.*, 2016).

A produção de biomassa e a formação de palhada constituem aspectos centrais para a eficiência das plantas de cobertura, uma vez que a quantidade e a persistência do *mulch* determinam a intensidade de seus efeitos sobre o solo e sobre a comunidade de plantas daninhas (Assis *et al.*, 2016). Em ambientes tropicais e subtropicais, *U. ruziziensis* tem se destacado pela elevada adaptabilidade, rápido estabelecimento e capacidade de formar densa camada de palhada, características desejáveis em sistemas agrícolas perenes (Lima Filho *et al.*, 2023). Contudo, a literatura ressalta que a eficiência funcional da palhada depende não apenas da

quantidade de biomassa produzida, mas também do manejo adotado, especialmente quanto ao método de dessecação e à manutenção da cobertura ao longo do tempo (Ensinas, 2015).

No manejo integrado de plantas daninhas, as plantas de cobertura são apontadas como ferramentas importantes na redução da emergência e do estabelecimento dessas espécies, atuando por meio do sombreamento, da competição por recursos e, em alguns casos, da liberação de compostos alelopáticos (Bento; Bastiani, 2020; Carvalho *et al.*, 2022). A cobertura do solo por palhada reduz a disponibilidade de luz na superfície, interferindo na germinação de sementes fotoblásticas positivas e dificultando o crescimento inicial das plântulas (Redin *et al.*, 2016). Entretanto, estudos indicam que o efeito supressivo da palhada pode ser variável, dependendo da densidade do *mulch*, da espécie de planta daninha e das condições ambientais, como temperatura e umidade do solo (Bento; Bastiani, 2020).

Dessa forma, a cobertura do solo não deve ser compreendida como uma estratégia isolada, mas como parte de um sistema integrado de manejo de plantas daninhas, cuja eficiência pode ser ampliada pela associação com métodos químicos (Carvalho *et al.*, 2022). Em culturas perenes, como a citricultura, essa integração torna-se ainda mais relevante, considerando-se a necessidade de controle contínuo das plantas daninhas e a crescente preocupação com a sustentabilidade do uso de herbicidas (Lima Filho *et al.*, 2023). Assim, embora os benefícios das plantas de cobertura sejam amplamente documentados, os estudos apontam a necessidade de aprofundar o conhecimento sobre as interações entre a palhada e outras práticas de manejo, especialmente quanto ao comportamento e à eficácia de herbicidas residuais aplicados sobre a camada de *mulch* em condições tropicais e subtropicais (Redin *et al.*, 2016; Carvalho *et al.*, 2022).

#### **4.3.1. Plantas de cobertura em sistemas perenes e na citricultura**

Os sistemas agrícolas perenes apresentam particularidades que os diferenciam de forma marcante dos sistemas anuais, sobretudo no que se refere ao manejo do solo, da vegetação e das plantas daninhas ao longo do tempo. Enquanto nos sistemas anuais a ocupação do solo ocorre de forma temporária, com preparo frequente, sucessão rápida de culturas e interrupções periódicas do ciclo produtivo, nos sistemas perenes a cultura principal permanece no campo por vários anos, exigindo estratégias de manejo contínuas e de longo prazo (Fernando; Shrestha, 2023). Essa condição torna o solo um componente permanentemente exposto a processos de degradação caso não seja protegido adequadamente, reforçando a necessidade de práticas conservacionistas que promovam cobertura permanente da superfície (Azevedo *et al.*, 2014).

Em pomares de citros, essa característica é ainda mais evidente, uma vez que a ausência de revolvimento periódico do solo e a manutenção da cultura por décadas impõem limitações ao uso de métodos tradicionais de controle de plantas daninhas, como gradagens e capinas intensivas, que tendem a comprometer a estrutura do solo e acelerar processos erosivos (Zaccheo, 2015). Nesse contexto, o uso de plantas de cobertura nas entrelinhas surge como estratégia para o manejo sustentável do sistema, permitindo conciliar conservação do solo, manejo das plantas daninhas e manutenção da produtividade da cultura principal (Carvalho; Lucena; Xavier, 2017).

O manejo do solo e da vegetação nas entrelinhas dos pomares assume papel estratégico, uma vez que essas áreas representam a maior proporção da superfície cultivada e influenciam diretamente a dinâmica hídrica, térmica e biológica do sistema. A manutenção de plantas de cobertura nessas entrelinhas favorece a proteção física do solo contra o impacto das gotas de chuva, reduz o escoamento superficial e aumenta a infiltração de água, contribuindo para a conservação dos recursos naturais e para a estabilidade produtiva do pomar (Silva *et al.*, 2021). Além disso, a presença contínua de cobertura vegetal modifica o microclima do solo, reduzindo a amplitude térmica e criando condições mais favoráveis à atividade microbiana e à ciclagem de nutrientes (Oliveira, 2014).

Diferentemente dos sistemas anuais, nos quais a cobertura vegetal é geralmente manejada por dessecação total antes da implantação da cultura, nos sistemas perenes a convivência entre a cultura principal e a cobertura vegetal é permanente e requer equilíbrio. Na citricultura, esse equilíbrio é alcançado, principalmente, por meio da roçagem ecológica, prática que permite controlar a altura e o vigor da vegetação nas entrelinhas sem eliminá-la completamente, além de direcionar a palhada produzida para a linha de plantio (Carvalho; Lucena; Xavier, 2017). Essa redistribuição da biomassa promove a formação de uma camada de *mulch* sobre o solo, que exerce múltiplas funções no sistema produtivo (Zaccheo, 2015).

Entre as principais vantagens do uso de plantas de cobertura em citros destaca-se a produção de elevada quantidade de biomassa, capaz de formar uma palhada persistente que atua como barreira física à emergência de plantas daninhas. Esse efeito ocorre tanto pela limitação da incidência de luz na superfície do solo quanto pela alteração das condições térmicas e de umidade necessárias à germinação das sementes infestantes (Fernando; Shrestha, 2023).

Além do efeito físico da cobertura vegetal, algumas espécies utilizadas como plantas de cobertura podem exercer ação alelopática, liberando compostos secundários capazes de interferir na germinação e no crescimento inicial de espécies infestantes. Estudos demonstraram

que gramíneas tropicais como *U. ruziziensis* e *Urochloa decumbens* podem apresentar efeito inibitório sobre o desenvolvimento de determinadas plantas daninhas, reforçando o potencial dessas espécies no manejo integrado de plantas infestantes em sistemas agrícolas (Villela *et al.*, 2021).

Os impactos positivos das plantas de cobertura não se restringem ao manejo de plantas daninhas, estendendo-se também à conservação do solo e à sustentabilidade do sistema produtivo. O aumento do teor de matéria orgânica, associado à deposição contínua de resíduos vegetais, contribui para a melhoria da estrutura do solo, maior agregação das partículas e incremento da capacidade de retenção de água, fatores essenciais para a longevidade dos pomares (Silva *et al.*, 2021). Esses benefícios são particularmente relevantes em regiões tropicais e subtropicais, onde a intensidade das chuvas e as altas temperaturas aceleram processos de degradação do solo (Azevedo *et al.*, 2014).

Entretanto, apesar das vantagens, o uso de plantas de cobertura em citros apresenta limitações que exigem manejo criterioso. A competição por água e nutrientes pode ocorrer, especialmente em períodos de estiagem prolongada ou em pomares jovens com sistema radicular ainda em formação, o que reforça a necessidade de ajuste na escolha das espécies e na intensidade da roçagem (Zaccheo, 2015). Além disso, a cobertura vegetal mal manejada pode dificultar operações mecanizadas ou favorecer a ocorrência de pragas e doenças, evidenciando que os benefícios desse sistema dependem diretamente de planejamento e monitoramento contínuos (Carvalho; Lucena; Xavier, 2017).

No que se refere à produtividade, estudos de síntese indicam que o uso de plantas de cobertura tende a manter ou aumentar os rendimentos das culturas quando os sistemas são avaliados em médio e longo prazo, sobretudo em função da melhoria gradual das condições do solo e da maior estabilidade do ambiente produtivo (Peng *et al.*, 2024). Na citricultura, esses ganhos indiretos são frequentemente mais relevantes do que incrementos imediatos de produtividade, uma vez que a sustentabilidade do pomar e a redução de riscos associados à degradação do solo impactam diretamente a viabilidade econômica do sistema ao longo dos anos (Azevedo *et al.*, 2014).

Nesse cenário, o manejo integrado de plantas de cobertura e práticas complementares de controle de plantas daninhas, como o uso de herbicidas residuais aplicados sobre a camada de *mulch*, desponta como alternativa promissora. Entretanto, a presença da palhada pode alterar a dinâmica de interceptação, retenção e liberação dos herbicidas no solo, influenciando o controle das plantas daninhas (Fernando; Shrestha, 2023). Assim, compreender a interação

entre cobertura vegetal, *mulch* e métodos químicos torna-se fundamental para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes e sustentáveis de manejo de plantas daninhas na citricultura.

#### **4.3.2. *Urochloa ruziziensis* como planta de cobertura e o manejo por roçagem ecológica em citros**

A *U. ruziziensis* tem sido amplamente utilizada como planta de cobertura em sistemas agrícolas tropicais e subtropicais devido ao seu elevado potencial de adaptação, crescimento vigoroso e capacidade de produção de biomassa, características que a tornam especialmente adequada para sistemas de manejo conservacionista do solo (Lima Filho *et al.*, 2023). Trata-se de uma gramínea perene de ciclo relativamente curto quando comparada a outras espécies do gênero, com arquitetura foliar favorável à interceptação de luz e rápido fechamento do dossel, o que contribui para a proteção do solo e a supressão inicial de plantas daninhas (Oliveira, 2014). Sua elevada plasticidade fenotípica permite bom desempenho sob diferentes condições edafoclimáticas, inclusive em solos de média a baixa fertilidade, o que amplia sua utilização em áreas de citricultura comercial no Brasil (Zaccheo, 2015).

Apesar de *Urochloa decumbens* ser a espécie predominante em áreas agrícolas, especialmente por sua ampla distribuição no Brasil e elevada capacidade competitiva (Martinelli *et al.*, 2017; Villela *et al.*, 2021), outras espécies do gênero podem apresentar comportamento mais favorável em determinadas situações. Entre elas, destaca-se *U. ruziziensis*, que tende a exercer menor interferência sobre culturas perenes, especialmente durante períodos de menor disponibilidade hídrica, por apresentar redução da atividade vegetativa, o que diminui a competição por água e nutrientes com os citros (Sanchez, 1998).

Do ponto de vista agrônômico, a *U. ruziziensis* destaca-se pela elevada produção de fitomassa aérea e radicular, resultando em significativo aporte de resíduos orgânicos ao solo ao longo do ciclo de cultivo (Wolschick *et al.*, 2016). A produção de biomassa está diretamente relacionada à eficiência da cobertura do solo, sendo considerada um dos principais critérios para a seleção de plantas de cobertura em sistemas perenes, especialmente quando o objetivo é a formação de *mulch* persistente (Lima; Timossi; Assunção, 2015). Estudos indicam que a elevada fração de cobertura proporcionada por essa espécie reduz a exposição do solo, limita perdas por erosão e cria um ambiente menos favorável à emergência de plantas daninhas (Araújo *et al.*, 2019).

A persistência da palhada formada por *U. ruziziensis* está associada à sua relação C/N relativamente elevada quando comparada às espécies da família Fabaceae (leguminosas), cujos resíduos apresentam menor relação carbono/nitrogênio e decomposição mais acelerada (Assis *et al.*, 2016; Lima Filho *et al.*, 2023). Essa maior relação C/N nas espécies da família Poaceae (gramíneas) resulta em decomposição mais lenta e maior tempo de permanência dos resíduos na superfície do solo, prolongando o efeito de cobertura (Ensinas, 2015). Essa característica é particularmente relevante em sistemas perenes como os pomares de citros, nos quais a manutenção contínua da cobertura superficial contribui para a proteção do solo e estabilidade produtiva (Azevedo *et al.*, 2014). A decomposição gradual da palhada favorece a ciclagem de nutrientes e o incremento do teor de matéria orgânica do solo, promovendo melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos ao longo do tempo (Redin *et al.*, 2016).

No contexto da citricultura, o manejo da *U. ruziziensis* não se baseia na eliminação da cobertura vegetal, mas sim na sua modulação por meio da roçagem ecológica, prática que permite conciliar a convivência da cobertura com a cultura principal (Carvalho; Lucena; Xavier, 2017). A roçagem ecológica consiste no corte periódico da vegetação das entrelinhas, mantendo o solo permanentemente coberto e direcionando a biomassa cortada para a linha de plantio, onde exerce função estratégica no sistema (Martinelli *et al.*, 2022). Essa prática difere do manejo convencional por não expor o solo e por promover a redistribuição intencional da palhada, reforçando seu papel como *mulch* funcional (Zaccheo, 2015).

Os objetivos da roçagem ecológica vão além do simples controle da altura da vegetação, incluindo a redução da competição entre a cobertura e os citros, a manutenção da cobertura do solo e o fortalecimento do manejo integrado de plantas daninhas (Azevedo *et al.*, 2012). A frequência e a intensidade da roçagem influenciam diretamente a quantidade e a distribuição do *mulch*, determinando a espessura da camada de palhada formada sobre o solo (Martinelli *et al.*, 2022). Quando adequadamente manejada, a *U. ruziziensis* apresenta alta capacidade de rebrota após a roçagem, assegurando fornecimento contínuo de biomassa ao sistema (Bettioli *et al.*, 2015).

A distribuição da palhada proveniente da roçagem ecológica exerce papel fundamental na modulação da emergência de plantas daninhas, uma vez que a camada de *mulch* atua como barreira física à germinação e ao estabelecimento das espécies infestantes (Fernando; Shrestha, 2023). A presença do *mulch* reduz a incidência de luz na superfície do solo, altera a amplitude térmica e dificulta a emergência de plântulas, especialmente daquelas com sementes pequenas e fotoblásticas positivas (Redin *et al.*, 2016; Bento; Bastiani, 2020). Além disso, a cobertura

superficial interfere na dinâmica do banco de sementes, promovendo maior mortalidade de plântulas nos estádios iniciais de desenvolvimento (Araújo *et al.*, 2019).

Nesse cenário, a *U. ruziziensis* assume papel central como base física para a interação com herbicidas residuais, uma vez que a palhada formada sobre a linha de plantio passa a atuar como interface entre o produto aplicado e o solo (Lima; Timossi; Assunção, 2015). A presença do *mulch* pode influenciar a interceptação, retenção e liberação gradual dos herbicidas, modificando sua disponibilidade no solo e, conseqüentemente, sua eficácia no controle de plantas daninhas (Martinelli *et al.*, 2022). Essa interação reforça a importância de compreender o comportamento dos herbicidas quando aplicados sobre a palhada de *U. ruziziensis*, especialmente em sistemas de manejo contínuo como os pomares de citros (Martinelli *et al.*, 2022).

Assim, a utilização da *U. ruziziensis* como planta de cobertura em citros, associada ao manejo por roçagem ecológica, configura-se como o núcleo biológico do sistema de manejo de plantas daninhas, ao integrar produção de biomassa, formação de *mulch* persistente e suporte físico para estratégias com manejo químico complementares (Carvalho; Lucena; Xavier, 2017). A eficiência desse sistema depende do equilíbrio entre produção e manejo da cobertura vegetal, evidenciando que o sucesso do controle de plantas daninhas em citros está diretamente relacionado à compreensão das interações entre cobertura, palhada e métodos de controle ao longo do tempo (Zaccheo, 2015).

#### **4.4. Classificação dos herbicidas e comportamento no ambiente**

##### **4.4.1. Classificação dos herbicidas quanto ao mecanismo de ação**

O mecanismo de ação de um herbicida refere-se ao processo bioquímico ou fisiológico específico no qual a molécula interfere, resultando em inibição do crescimento ou morte da planta daninha (Fernando; Shrestha, 2023). Esse conceito é central para a seleção de produtos e para estratégias de manejo que visam reduzir a pressão de seleção de resistência (Martinelli *et al.*, 2022).

Alguns dos principais alvos fisiológicos incluem a fotossíntese, onde herbicidas inibem a transferência de elétrons ou a fixação de energia luminosa, gerando radicais livres que danificam membranas e cloroplastos (Oliveira, 2014); a síntese de aminoácidos, em que a interrupção de vias biossintéticas essenciais limita a produção de proteínas e enzimas vitais (Martinelli *et al.*, 2022); a síntese de lipídios, que compromete a integridade de membranas e

cutículas, afetando a proteção celular e a retenção de água (Fernando; Shrestha, 2023); e a divisão celular, em que a inibição da mitose bloqueia a elongação e o crescimento radicular, afetando principalmente plântulas e tecidos meristemáticos (Zaccheo, 2015).

A compreensão desses mecanismos permite combinações estratégicas de herbicidas, alternando mecanismos de ação para reduzir pressão de seleção sobre populações de plantas daninhas e retardar o surgimento de biotipos resistentes (Martinelli *et al.*, 2022).

#### **4.4.2. Classificação quanto à seletividade e época de aplicação**

Outra forma de classificação baseia-se na seletividade e no estágio de aplicação. Herbicidas seletivos afetam determinadas espécies sem prejudicar a cultura, enquanto não seletivos eliminam ampla gama de plantas, sendo utilizados em preparo de solo ou áreas sem cultivo (Azevedo *et al.*, 2012). Em sistemas perenes, como pomares de citros, a seletividade é essencial para preservar as plantas comerciais e reduzir riscos de fitotoxicidade (Carvalho; Lucena; Xavier, 2017).

Quanto ao estágio de aplicação, herbicidas podem ser pré-emergentes, aplicados antes da emergência da planta daninha para atuar sobre sementes e plântulas, ou pós-emergentes, que exigem plantas mais estabelecidas para serem eficazes (Martinelli *et al.*, 2022). Além disso, distinguem-se em herbicidas de contato, que afetam apenas células em contato direto, e sistêmicos, que são absorvidos e translocados pelo xilema e floema, atingindo tecidos distantes do ponto de aplicação (Oliveira, 2014).

Essa classificação auxilia no planejamento de aplicações, garantindo eficiência do controle, preservação da cultura e redução do número de tratamentos necessários, especialmente em pomares onde o manejo é contínuo (Azevedo *et al.*, 2014).

#### **4.4.3. Absorção e translocação dos herbicidas nas plantas**

A eficácia dos herbicidas está diretamente associada à sua capacidade de penetrar nos tecidos vegetais e atingir o sítio de ação em concentração suficiente para provocar a interrupção de processos metabólicos essenciais. A absorção pode ocorrer por via foliar ou radicular, dependendo da forma de aplicação e das características físico-químicas da molécula. Na via foliar, a principal barreira à penetração é a cutícula, cuja espessura, composição lipídica e grau de hidratação influenciam a difusão do herbicida, sendo moléculas mais lipofílicas favorecidas nesse processo (Barroso; Murata, 2021). A absorção também pode ocorrer por estômatos e

regiões de menor espessura cuticular, embora a via cuticular seja predominante na maioria dos herbicidas pós-emergentes (National Academies of Sciences, 1968; Mendes *et al.*, 2022).

A absorção radicular, por sua vez, depende da presença do herbicida na solução do solo e de sua disponibilidade na zona de absorção das raízes, sendo influenciada por processos como adsorção e mobilidade no perfil edáfico (Barroso; Murata, 2021). Uma vez absorvido, o herbicida pode ser translocado via xilema ou floema. O transporte via xilema ocorre predominantemente no sentido ascendente, acompanhando o fluxo transpiratório, enquanto o transporte via floema permite redistribuição bidirecional, alcançando meristemas apicais e estruturas subterrâneas, característica fundamental para o controle de plantas daninhas perenes e com capacidade de rebrota (Barroso; Murata, 2021).

A eficiência da translocação está relacionada à solubilidade, à forma ionizada da molécula e à atividade metabólica da planta, sendo influenciada pelo estágio fenológico, área foliar ativa e condições ambientais como temperatura e umidade relativa do ar (Oliveira, 2014). Herbicidas sistêmicos, capazes de se movimentar pelo sistema vascular, tendem a apresentar controle mais uniforme e duradouro, enquanto herbicidas de contato atuam restritamente nos tecidos atingidos, o que pode favorecer a rebrota em espécies com reservas subterrâneas (Martinelli *et al.*, 2022). Essa compreensão fisiológica é essencial para definir momento de aplicação, dose e estratégia de manejo em pomares de citros.

#### **4.4.4. Comportamento dos herbicidas no solo**

O comportamento dos herbicidas no solo é determinado por um conjunto de processos físicos, químicos e biológicos que regulam sua disponibilidade para absorção pelas plantas, sua persistência e seu potencial impacto ambiental. A adsorção às partículas de argila e à matéria orgânica constitui um dos principais mecanismos que controlam a mobilidade das moléculas no perfil do solo, reduzindo sua lixiviação e alterando sua biodisponibilidade (Barroso; Murata, 2021). Solos com maior teor de matéria orgânica e maior capacidade de troca catiônica tendem a reter mais intensamente determinadas moléculas, reduzindo sua movimentação vertical (Zaccheo, 2015).

A mobilidade do herbicida está associada à sua solubilidade em água, ao coeficiente de partição solo-água e às características estruturais do solo, sendo maior em solos arenosos ou sob elevada precipitação (Barroso; Murata, 2021). Herbicidas pouco adsorvidos apresentam maior risco de lixiviação, podendo atingir camadas mais profundas e, em situações extremas, contaminar águas subterrâneas (Zaccheo, 2015).

A persistência no ambiente depende da estabilidade química da molécula e de sua suscetibilidade à degradação microbiana, química ou fotolítica. A degradação microbiana representa um dos principais mecanismos de dissipação, sendo influenciada por temperatura, umidade e atividade biológica do solo (Barroso; Murata, 2021). Processos químicos de hidrólise e oxidação também contribuem para a redução da concentração do produto ao longo do tempo (Cardeal *et al.*, 2011; Faridy *et al.*, 2024). A fotodegradação ocorre quando moléculas de herbicidas absorvem energia da radiação solar, desencadeando reações fotoquímicas que quebram ou transformam a molécula original (Fenoll *et al.*, 2012).

Fatores edáficos como textura, pH, teor de matéria orgânica, umidade e temperatura atuam de forma integrada sobre adsorção, mobilidade e degradação, determinando o período de atividade residual do herbicida no ambiente (Barroso; Murata, 2021). Em sistemas com plantas de cobertura, a presença de palhada na superfície pode modificar a interceptação inicial do produto, influenciar sua retenção e alterar a dinâmica de sua chegada ao solo mineral, o que reforça a necessidade de compreender essas interações no planejamento do manejo químico em pomares cítricos (Aslam *et al.*, 2018).

#### **4.5. Influência da palhada na dinâmica de herbicidas no solo**

A presença de palhada sobre a superfície do solo modifica de forma significativa a dinâmica dos herbicidas aplicados em sistemas agrícolas conservacionistas, especialmente em cultivos perenes nos quais a aplicação ocorre predominantemente sobre resíduos vegetais e não diretamente sobre o solo (Fernando; Shrestha, 2023). Em pomares de citros conduzidos com cobertura vegetal manejada por roçagem ecológica, a camada de *mulch* passa a atuar como a primeira interface entre o herbicida e o ambiente edáfico, influenciando processos de interceptação, retenção, degradação e liberação do produto para o solo (Martinelli *et al.*, 2022).

A interceptação dos herbicidas pela palhada é um processo diretamente relacionado à quantidade, à distribuição e às características físicas dos resíduos vegetais presentes na superfície do solo (Lima; Timossi; Assunção, 2015). Quanto maior a massa de palha e a fração de cobertura do solo, maior tende a ser a proporção do herbicida retida nos resíduos logo após a aplicação, reduzindo o contato imediato do produto com o solo (Khalil *et al.*, 2018; Maia *et al.* 2025). Esse efeito é particularmente relevante em sistemas com elevada produção de biomassa, como aqueles que utilizam *U. ruziziensis*, nos quais a espessura da camada de *mulch* pode atuar como barreira física à chegada do herbicida ao solo (Zaccheo, 2015).

Após a interceptação inicial, parte do herbicida pode permanecer retida na palhada, enquanto outra fração pode ser transferida gradualmente para o solo por meio da ação da chuva ou da irrigação, caracterizando um processo de lixiviação pelos resíduos vegetais (Carbonari *et al.*, 2016; de Matos *et al.*, 2016). A intensidade e a velocidade desse processo dependem tanto da quantidade de palha quanto da intensidade dos eventos pluviométricos, sendo que chuvas leves tendem a promover liberação parcial, enquanto chuvas mais intensas favorecem maior transporte do produto para o solo (Fernando; Shrestha, 2023).

A sorção de herbicidas aos resíduos vegetais é outro fator determinante na sua dinâmica, estando relacionada à composição química da palhada, especialmente ao teor de lignina, celulose e compostos fenólicos presentes nos tecidos vegetais (Redin *et al.*, 2016). Herbicidas com maior afinidade por matéria orgânica tendem a apresentar maior sorção à palhada, permanecendo adsorvidos por períodos mais longos e reduzindo sua disponibilidade imediata no solo (Oliveira, 2014). Esse comportamento é fortemente influenciado pelas propriedades físico-químicas dos herbicidas, em especial o coeficiente de partição octanol-água ( $K_{ow}$ ), que indica a afinidade do composto por fases orgânicas (Somasundaram *et al.*, 1991; Agbaogun; Fischer, 2020).

Herbicidas com elevado valor de  $K_{ow}$  apresentam maior tendência à sorção tanto na matéria orgânica do solo quanto nos resíduos vegetais, o que pode resultar em maior retenção na palhada e menor mobilidade inicial no perfil do solo (Martinelli *et al.*, 2022). Por outro lado, herbicidas com baixa afinidade por fases orgânicas e alta solubilidade em água tendem a ser mais facilmente lixiviados da palhada para o solo, especialmente após eventos de precipitação (Fernando; Shrestha, 2023). Assim, a interação entre palhada e herbicidas não é uniforme, variando de acordo com as características intrínsecas de cada molécula (Peng *et al.*, 2024).

Além de influenciar a interceptação e a sorção, a palhada afeta diretamente os processos de degradação dos herbicidas. A presença de resíduos vegetais sobre o solo pode reduzir a incidência de radiação solar na superfície, limitando a fotodegradação de herbicidas sensíveis à luz ultravioleta (Martinelli *et al.*, 2022). Esse efeito pode aumentar a persistência do produto no sistema, prolongando sua atividade residual e alterando o período de controle das plantas daninhas (Fernando; Shrestha, 2023).

A volatilização também pode ser influenciada pela presença da palhada, uma vez que a cobertura do solo modifica a temperatura e a umidade da superfície, fatores diretamente relacionados à perda de herbicidas por essa via (Oliveira, 2014). Herbicidas com maior pressão de vapor apresentam maior risco de volatilização, especialmente quando aplicados sobre

resíduos vegetais secos e expostos a altas temperaturas, o que reforça a importância de considerar essa propriedade na escolha do produto para aplicação sobre *mulch* (Martinelli *et al.*, 2022).

A degradação microbiana dos herbicidas pode ser tanto estimulada quanto retardada pela presença da palhada, dependendo das condições ambientais e da interação entre os microrganismos e o resíduo vegetal (Redin *et al.*, 2016). A palhada pode atuar como fonte de carbono para a microbiota do solo, favorecendo a atividade biológica e, potencialmente, a degradação de determinados herbicidas após sua liberação para o solo (Silva *et al.*, 2021). Entretanto, quando o herbicida permanece fortemente sorvido aos resíduos vegetais, sua disponibilidade para degradação microbiana pode ser temporariamente reduzida (Marín-Benito *et al.*, 2019).

Um dos aspectos mais relevantes da interação entre palhada e herbicidas em sistemas conservacionistas é o fenômeno da liberação gradual do produto para o solo. A palhada pode atuar como um reservatório temporário, retendo o herbicida logo após a aplicação e liberando-o progressivamente ao longo do tempo, em função da decomposição dos resíduos e da ocorrência de chuvas (Fernando; Shrestha, 2023). Esse comportamento pode resultar em maior persistência do efeito residual e em controle mais prolongado das plantas daninhas, desde que a quantidade de palha e as características do herbicida sejam compatíveis (Martinelli *et al.*, 2022).

Nesse sentido, a quantidade de palhada assume papel central na modulação da eficácia dos herbicidas, pois camadas muito espessas podem reter excessivamente o produto, retardando sua chegada ao solo e reduzindo o controle inicial das plantas daninhas (Zaccheo, 2015). Assim, compreender a relação entre palha e dinâmica dos herbicidas é essencial para o ajuste de doses e estratégias de aplicação na citricultura (Martinelli *et al.*, 2022).

Portanto, a influência da palhada na dinâmica dos herbicidas no solo resulta da interação entre os resíduos vegetais e as propriedades físico-químicas dos produtos aplicados, especialmente K<sub>ow</sub>, solubilidade em água e pressão de vapor (Fernando; Shrestha, 2023). Essa interação constitui a base conceitual para a avaliação da eficácia de herbicidas residuais aplicados sobre *mulch* de *U. ruziziensis*, justificando a necessidade de estudos que considerem simultaneamente a cobertura vegetal e o comportamento dos herbicidas em sistemas perenes como a citricultura (Martinelli *et al.*, 2022).

#### **4.6. Herbicidas residuais no manejo de plantas daninhas**

Os herbicidas residuais, também denominados pré-emergentes, constituem uma das principais ferramentas químicas no manejo de plantas daninhas em sistemas agrícolas perenes, atuando predominantemente sobre sementes em germinação ou plântulas nos estádios iniciais de desenvolvimento (Oliveira, 2014). Diferentemente dos herbicidas pós-emergentes, que exigem a presença de plantas daninhas estabelecidas, os herbicidas residuais formam uma zona ativa no solo capaz de inibir processos fisiológicos essenciais, como a divisão celular, a síntese de lipídios, a fotossíntese ou a respiração, dependendo do seu mecanismo de ação (Bhatti *et al.*, 2013). Essa característica confere a esses produtos papel estratégico na prevenção de reinfestações e na redução da pressão do banco de sementes ao longo do tempo (Fernando; Shrestha, 2023).

Na citricultura, o uso de herbicidas residuais assume importância ainda maior em função da dificuldade de controle mecânico na linha de plantio e da necessidade de manutenção de áreas livres de competição em torno das plantas de citros (Azevedo *et al.*, 2014). Os principais herbicidas residuais utilizados nesse sistema pertencem a diferentes grupos químicos e mecanismos de ação, sendo selecionados com base na seletividade para a cultura, no espectro de controle e na persistência no solo (Martinelli *et al.*, 2022). A seletividade em citros está geralmente associada à aplicação dirigida, à tolerância fisiológica da cultura e à limitada absorção radicular em condições normais de manejo, o que permite o uso desses produtos sem prejuízo ao desenvolvimento das plantas (Azevedo *et al.*, 2012).

O comportamento dos herbicidas residuais no solo é fortemente condicionado por suas propriedades físico-químicas, destacando-se a solubilidade em água, o coeficiente de partição octanol-água (Kow) e o coeficiente de adsorção normalizado ao carbono orgânico (Koc), os quais determinam sua distribuição, mobilidade e persistência no ambiente edáfico (Martinelli *et al.*, 2022). O Kow expressa a afinidade da molécula por fases lipofílicas em relação à água, sendo indicativo do potencial de absorção por tecidos vegetais, da interação com resíduos orgânicos e da tendência à bioacumulação (Oliveira, 2014). Herbicidas com valores elevados de Kow apresentam maior afinidade por superfícies orgânicas, incluindo matéria orgânica do solo e resíduos vegetais, o que pode reduzir sua disponibilidade imediata na solução do solo (Fernando; Shrestha, 2023).

O Koc, por sua vez, representa um parâmetro mais diretamente associado ao comportamento do herbicida no solo, uma vez que expressa sua afinidade específica pelo carbono orgânico, permitindo estimar o grau de sorção independentemente do teor de matéria orgânica do solo (Martinelli *et al.*, 2022). Herbicidas com baixo Koc tendem a permanecer mais

tempo na solução do solo, apresentando maior mobilidade vertical e maior risco de lixiviação, especialmente em solos com baixa capacidade de retenção (Azevedo *et al.*, 2014). Em contraste, moléculas com elevado Koc apresentam forte adsorção à matéria orgânica, menor deslocamento no perfil e maior persistência na camada superficial, o que favorece o efeito residual sobre plantas daninhas em germinação e contribui para a seletividade em pomares cítricos (Zaccheo, 2015).

Dessa forma, a interpretação conjunta dos valores de Kow e Koc é fundamental para compreender a dinâmica dos herbicidas residuais em sistemas perenes, uma vez que esses parâmetros influenciam simultaneamente a mobilidade no solo, a interação com resíduos orgânicos e a duração do efeito herbicida, especialmente em ambientes com elevada variabilidade edáfica e de manejo, como os pomares de citros (Martinelli *et al.*, 2022).

Além das características intrínsecas dos herbicidas, fatores ambientais e de manejo também afetam sua eficiência e persistência no solo. A umidade do solo é determinante para a ativação dos herbicidas residuais, uma vez que a presença de água favorece sua dissolução e disponibilidade na solução do solo (Azevedo *et al.*, 2014). A temperatura, o pH e a atividade microbiana influenciam os processos de degradação química e biológica, podendo reduzir ou prolongar a permanência do produto no sistema (Martinelli *et al.*, 2022). Em sistemas perenes, nos quais o manejo é contínuo, essas variáveis assumem papel ainda mais relevante, exigindo ajustes finos na escolha do produto e na estratégia de aplicação (Zaccheo, 2015).

Em sistemas conduzidos com cobertura vegetal e presença de palhada na superfície do solo, como ocorre em pomares de citros manejados com roçagem ecológica, a dinâmica dos herbicidas residuais torna-se mais complexa. A aplicação sobre o *mulch* modifica o padrão de interceptação e redistribuição do produto, fazendo com que parte significativa do herbicida fique inicialmente retida nos resíduos vegetais (Lima; Timossi; Assunção, 2015). Essa retenção pode atrasar a chegada do herbicida ao solo, influenciando o controle inicial das plantas daninhas, especialmente em períodos de baixa precipitação (Martinelli *et al.*, 2022).

Por outro lado, a presença da palhada pode atuar como fator positivo ao favorecer a liberação gradual do herbicida para o solo, prolongando sua atividade residual e promovendo controle mais estável ao longo do tempo (Fernando; Shrestha, 2023). Esse efeito depende diretamente da quantidade de palha e da afinidade do herbicida pelos resíduos vegetais, sendo mais pronunciado para moléculas com maior Kow e menor solubilidade em água (Martinelli *et al.*, 2022). Assim, o *mulch* pode funcionar como um reservatório temporário, modulando a

disponibilidade do herbicida no solo e reduzindo perdas por volatilização ou fotodegradação (Oliveira, 2014).

Entretanto, o uso de herbicidas residuais associados à palhada também apresenta limitações que precisam ser consideradas. Camadas excessivas de *mulch* podem reter grande parte do produto, reduzindo sua eficácia no controle de plantas daninhas (Zaccheo, 2015). Além disso, a heterogeneidade na distribuição da palha pode resultar em variações espaciais na eficiência do controle, exigindo manejo criterioso da cobertura vegetal e da roçagem (Martinelli *et al.*, 2022).

Dessa forma, o uso de herbicidas residuais em sistemas com cobertura vegetal deve ser compreendido como parte de uma estratégia integrada de manejo de plantas daninhas, na qual a seletividade em citros, o comportamento do produto no solo e na palhada e as condições de manejo são avaliados de forma conjunta (Azevedo *et al.*, 2014). Quando adequadamente ajustada, essa associação permite reduzir a dependência de aplicações frequentes de herbicidas, aumentar a eficiência do controle e promover maior sustentabilidade dos sistemas citrícolas (Fernando; Shrestha, 2023). O manejo químico de plantas daninhas em pomares de citros exige herbicidas que combinem eficiência de controle, persistência adequada e compatibilidade com a cultura principal.

Considerando a importância do ajuste entre características físico-químicas, mecanismo de ação e interação com o solo e *mulch*, torna-se fundamental analisar individualmente os herbicidas empregados no manejo de plantas daninhas em citros. Cada molécula apresenta comportamento distinto que determina sua adequação a sistemas com cobertura vegetal.

Nesse contexto, são apresentadas a seguir as principais características dos herbicidas sulfentrazone, indaziflam e oxyfluorfen (Tabela 1), os quais possuem registro para aplicação na cultura dos citros (Agrosfit, 2026). A aplicação desses produtos em pomares com *mulch* de *U. ruziziensis* possibilita avaliar como diferentes características físico-químicas e mecanismos de ação interagem com a cobertura vegetal, influenciando a mobilidade, disponibilidade e persistência dos herbicidas.

Tabela 1. Características dos herbicidas.

Herbicida	Grupo químico HRAC <sup>1</sup>	Koc (mL g <sup>-1</sup> )	Log Kow	Solubilidade (mg L <sup>-1</sup> )	pKa	P.V. (Pa)	t <sub>1/2</sub> (dias)
<b>sulfentrazone</b>	E	43	1,0	110	6,56	1,07x10 <sup>-7</sup>	110~280
<b>indaziflam</b>	L	1000	2,8	2,2	3,5	6,8x10 <sup>-8</sup>	200
<b>oxyfluorfen</b>	E	100000	4,9	0,1	não-ionizável	2,67x10 <sup>-4</sup>	30~40

<sup>1</sup>Classificação de grupos químicos HRAC (*Herbicide Resistance Action Committee*).

E: Inibidores da Protox; L: Inibidores da síntese de celulose. Kow: coeficiente de partição octanol-água; Koc: coeficiente de partição de carbono orgânico; pKa: logaritmo negativo da constante de dissociação ácida (Ka); P.V.: pressão de vapor (25°C); t<sub>1/2</sub>: tempo de Meia-Vida.

#### 4.6.1. Sulfentrazone

O sulfentrazone pertence ao grupo das triazolinonas, atuando como inibidor da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX). A inibição dessa enzima impede a conversão de protoporfirinogênio em protoporfirina IX, levando ao acúmulo de intermediários fotossensíveis que provocam peroxidação lipídica nas membranas celulares, causando necrose (Barroso; Murata, 2021).

Pode ser aplicado em pré-emergência, controlando a germinação das sementes, sua ação é sistêmica, apresenta efeito residual moderado devido à lenta liberação do herbicida adsorvido à matéria orgânica do solo (Martinelli *et al.*, 2022).

No solo, apresenta moderada a alta solubilidade em água (110 mg L<sup>-1</sup>), hidrofilicidade (Log Kow = 0,991) e fraca adsorção (Koc = 43 mL g<sup>-1</sup>), sugerindo uma maior propensão à movimentação do herbicida para camadas mais profundas do solo (Tabela 1). Solos com alto teor de matéria orgânica tendem a reduzir a disponibilidade imediata, mas aumentam a persistência residual, beneficiando o controle a médio prazo (Barroso; Murata, 2021). O sulfentrazone é adequado para sistemas perenes como citros, onde a seletividade é crucial, garantindo controle de plantas daninhas sem comprometer o crescimento das plantas de citros (Bettioli *et al.*, 2015).

#### 4.6.2. Indaziflam

O indaziflam é um herbicida do grupo alquilamina de nitrofenil, cuja ação se dá pela inibição da biossíntese de celulose, bloqueando a síntese de paredes celulares em células meristemáticas. Essa interrupção compromete a elongação celular, inibindo a germinação de sementes e o desenvolvimento de plântulas (Barroso; Murata, 2021).

É utilizado exclusivamente em pré-emergência, com absorção predominantemente radicular, sendo pouco translocado pelo xilema ou floema. Sua principal característica é o alto efeito residual, tornando-o eficiente para prevenir a emergência de novas plantas daninhas em pomares com cobertura vegetal (Martinelli *et al.*, 2022).

O indaziflam apresenta forte adsorção ao solo (Koc = 1000 mL g<sup>-1</sup>), e baixa solubilidade em água (2,2 mg L<sup>-1</sup>) e um Log Kow de 2,8, indicando moderada lipofilicidade (Tabela 1). Sua

baixa solubilidade reduz riscos de lixiviação e contaminação de lençóis freáticos, tornando-o adequado para sistemas perenes e solos com *mulch* (Barroso; Murata, 2021).

#### 4.6.3. Oxyfluorfen

O oxyfluorfen pertence ao grupo das diphenyl ethers, atuando também como inibidor da PROTOX, mas com efeito predominantemente de contato e limitada translocação sistêmica. A interrupção da fotossíntese e a formação de radicais livres levam a necrose rápida nos tecidos em crescimento ativo (Barroso; Murata, 2021).

Pode ser aplicado em pré ou pós-emergência, sendo mais eficaz sobre plantas jovens e em crescimento ativo. Apresenta baixo nível residual, devido à fotossensibilidade e rápida degradação química, e adsorção muito forte e baixa mobilidade ( $K_{oc} = 100000 \text{ mL g}^{-1}$ ), baixa solubilidade ( $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ ) e caráter extremamente lipofílico ( $\text{Log } K_{ow} = 4,86$ ) (Tabela1), permanecendo principalmente na superfície, o que reduz o risco de lixiviação (Locke; Bryson, 1997; Araldi *et al.*, 2015).

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1. Área experimental e instalação do ensaio

O experimento foi conduzido em área experimental previamente instalada pertencente ao Centro de Citricultura Sylvio Moreira (CCSM/IAC), em Cordeirópolis/SP. A implantação deste experimento iniciou-se com o plantio de pomar de laranjeira Pêra [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] sobre porta-enxerto tangerina Sunki (*Citrus sunki* Hort. ex Tan.), em setembro de 2024. Está situada na latitude 22°45'29"S, longitude 47°40'99"W, à 715 m de altitude em relação ao nível do mar. O pomar possui 0,42 ha distribuídos em 4 linhas com 87 plantas cada, somando um total de 348 plantas espaçadas à 6,0 m (entrelinha) x 2,0 m (entre plantas). O plantio do pomar foi realizado em sistema de cultivo mínimo, onde se preparou apenas as linhas de plantio com subsolador. A entrelinha foi semeada com *U. ruziziensis* a 10 kg de sementes  $\text{ha}^{-1}$ , com semeadura à lanço, em novembro de 2024.

O solo foi classificado como solo Latossolo Vermelho distrófico de textura predominantemente argilosa (64,6% argila; 21,3% areia; 14,1% silte). Os atributos químicos do solo da área experimental foram determinados na camada de 0–20 cm de profundidade (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros químicos do solo da área experimental.

pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	H + Al	S.B.	C.T.C.	V
(CaCl <sub>2</sub> )	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>			mmolc dm <sup>-3</sup>				%
5,4	25	25	3,2	43	21	32	67,2	99,2	68

pH, teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), matéria orgânica (M.O.), acidez potencial (H + Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%).

O delineamento utilizado foi em blocos aleatorizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições (Tabela 3). O primeiro fator (A; com *mulch* - ECO e sem *mulch* - CONV) é composto de dois manejos de roçagens da entrelinha, com as roçadoras ecológica e convencional. O segundo fator (B; herbicidas residuais), composto de 4 tratamentos: testemunha sem aplicação e pelos herbicidas sulfentrazone, indaziflam e oxyfluorfen, foram selecionados três herbicidas com características físico-químicas distintas. Essa escolha possibilita investigar como diferentes características físico-químicas interagem com o *mulch* de *U. ruziziensis*.

Tabela 3. Níveis dos fatores de variação em esquema de parcela subdividida para o experimento II.

Parcela: Tipo de roçagem (A)	Subparcela: Herbicidas residuais (B)
ECO (manejo com roçadora ecológica; com <i>mulch</i> entre plantas)	1: testemunha - Sem herbicida
	2: sulfentrazone
CONV (manejo com roçadora convencional; sem <i>mulch</i> entre plantas)	3: indaziflam
	4: oxyfluorfen

Cada parcela experimental foi constituída de quatro plantas de laranja Pêra. O experimento foi repetido no tempo, contemplando dois anos agrícolas e duas estações por ano. No primeiro ano agrícola, as aplicações foram realizadas na primavera de 2024 e no verão de 2024/2025. No segundo ano, os experimentos foram conduzidos na primavera de 2025 e no verão de 2025/2026.

A primeira roçagem da entrelinha do pomar foi realizada em 17 de dezembro de 2024, a segunda em 24 de janeiro de 2025, a terceira em 07 de março de 2025, a quarta em 16 de abril de 2025, a quinta em 01 de dezembro de 2025, a sexta em 08 de janeiro de 2026, sétima em 11 de março de 2026 e a oitava e última em 07 de maio de 2026. As duas roçadoras laterais utilizadas foram : (i) ECO: roçadora ecológica (Kamaq<sup>®</sup> - Ninja Eco 230, com seis lâminas de corte, com largura de corte = 2,60 m), esta que projeta a biomassa roçada lateralmente, direcionando-a para a linha de plantio dos citros, proporcionando o *mulch* entre plantas; (ii) CONV: roçadora convencional (Kamaq<sup>®</sup> - modelo Ninja 230, com quatro lâminas de corte, com largura de corte = 2,60 m), esta que projeta a biomassa roçada em sua trajetória de corte, direcionando-a centralmente, proporcionando o *mulch* na entrelinha (Figura 1).



Figura 1. Pomar experimental após roçagem ecológica (esquerda) e convencional (direita) em janeiro/25. Fonte: próprio autor.

Os herbicidas foram aplicados conforme as recomendações de bula, nas doses recomendadas para a cultura dos citros (Tabela 4).

Tabela 4. Descrição dos tratamentos

TRT	Herbicida (ia*)	Produto comercial	Dose	Volume de Calda
			(g ia ha <sup>-1</sup> )	(L ha <sup>-1</sup> )
1	testemunha	-	-	-
2	sulfentrazone	Boral®	700	200
3	indaziflam	Alion®	100	200
4	oxyfluorfen	Galigan®	1200	200

\*ia: ingrediente ativo

O espectro de controle dos herbicidas utilizados no experimento, conforme informações de bula dos produtos comerciais, encontra-se descrito na Tabela 5.

Tabela 5. Principais espécies de plantas daninhas controladas conforme informações de bula dos produtos comerciais dos herbicidas utilizados no experimento

Herbicida	Ingrediente ativo	Alvo biológico
Boral®	sulfentrazone	Capim-carrapicho ( <i>Cenchrus echinatus</i> ) Capim-colchão ( <i>Digitaria horizontalis</i> ) Caruru ( <i>Amaranthus retroflexus</i> ) Gramma-seda ( <i>Cynodon dactylon</i> ) Picão-preto ( <i>Bidens pilosa</i> )

		Trapoeiraba ( <i>Commelina benghalensis</i> )
Alion®	indaziflam	Capim-braquiária ( <i>Brachiaria decumbens</i> ) Capim-colchão ( <i>Digitaria horizontalis</i> ) Picão-preto ( <i>Bidens pilosa</i> ) Capim-marmelada ( <i>Brachiaria plantaginea</i> ) Buva ( <i>Conyza bonariensis</i> ) Capim-amargoso ( <i>Digitaria insularis</i> ) Capim-carrapicho ( <i>Cenchrus echinatus</i> ) Capim-pé-de-galinha ( <i>Eleusine indica</i> ) Guanxuma ( <i>Sida rhombifolia</i> )
Galigan®	oxyfluorfen	Capim-colchão ( <i>Digitaria horizontalis</i> ) Capim-pé-de-galinha ( <i>Eleusine indica</i> ) Nabiça ( <i>Raphanus raphanistrum</i> ) Trapoeiraba ( <i>Commelina benghalensis</i> )

Fonte: Bulas dos produtos comerciais Boral®, Alion® e Galigan®.

Os dados meteorológicos das datas de aplicação demonstram que as aplicações foram realizadas com valores adequados de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e pluviosidade (Tabela 6). Para as aplicações, foi utilizado pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub>, com pressão constante de 2,0 bar, e barra equipada com três bicos, totalizando 1,5 m de largura de aplicação, dirigida à faixa da linha de plantio do pomar (projeção da copa dos citros), a 50 cm da superfície do solo, utilizando-se ponta de pulverização do tipo leque Teejet® Extended Range (XR) 11002 VS.

Tabela 6. Dados meteorológicos nos horários das aplicações.

Exp.	Data	Hora da aplicação (h)	T <sub>AR</sub> (°C)	UR <sub>AR</sub> (%)	VV (m/s)	PP (mm)
I – Primavera	20/12/24	09:00	24,53	73,34	2,06	0,00
I – Verão	13/02/25	09:00	26,75	64,51	1,62	0,00
II – Primavera	23/10/25	09:00	18,89	60,52	2,70	0,00
II – Verão	06/01/26	09:00	21,71	72,49	2,54	0,00

T<sub>AR</sub>: temperatura do ar; UR<sub>AR</sub>: umidade relativa do ar; VV: velocidade do vento; PP: precipitação pluvial.

Vale ressaltar que, 20 dias antes das aplicações, todas plantas daninhas presentes nas parcelas foram dessecadas com os herbicidas glifosato + glufosinato-de-amônio + clethodim, de modo a igualá-las e viabilizar a aplicação dos tratamentos com herbicidas residuais.

## 5.2. Condições meteorológicas durante o período experimental

Durante o período experimental foram registrados dados meteorológicos de precipitação pluvial, temperatura média e umidade relativa do ar. As informações foram obtidas a partir de estação meteorológica localizada próxima à área experimental. Os dados foram organizados mensalmente para caracterização das condições climáticas durante os dois anos agrícolas

avaliados, adicionalmente, foram apresentados os dados de precipitação diária e acumulada após a aplicação dos herbicidas em cada época experimental, considerando a importância da precipitação para a incorporação e ativação de herbicidas residuais no solo (Figuras 2 e 3).

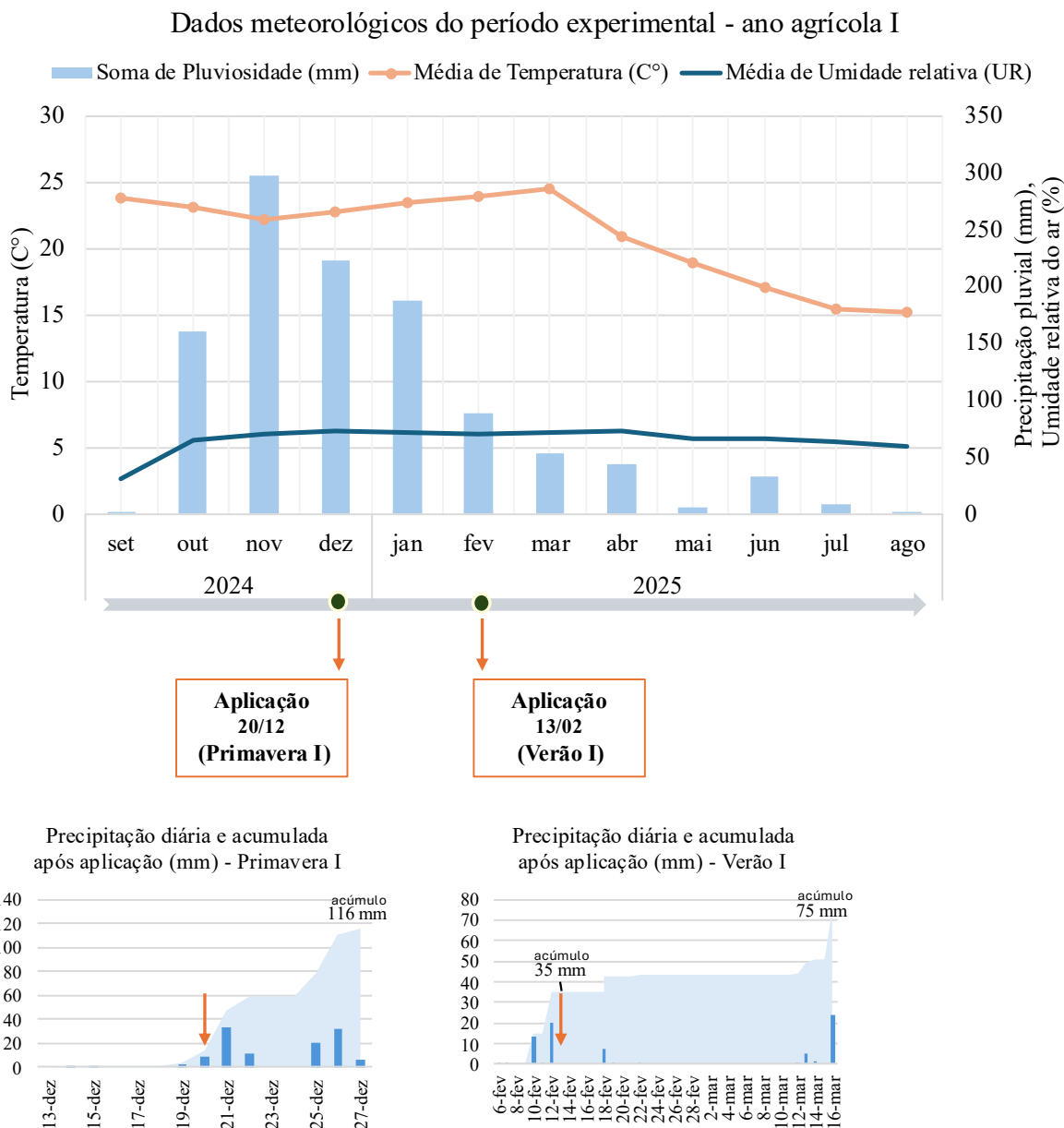


Figura 2. Dados meteorológicos do período experimental no ano agrícola I, incluindo precipitação pluvial mensal, temperatura média do ar e umidade relativa, bem como precipitação diária e acumulada antes e após aplicação dos herbicidas nas épocas de primavera e verão. As setas indicam as datas de aplicação dos herbicidas. Fonte: próprio autor a partir de dados da estação meteorológica (CCSM/IAC, Cordeirópolis-SP, 2026).

### Dados meteorológicos do período experimental - ano agrícola II

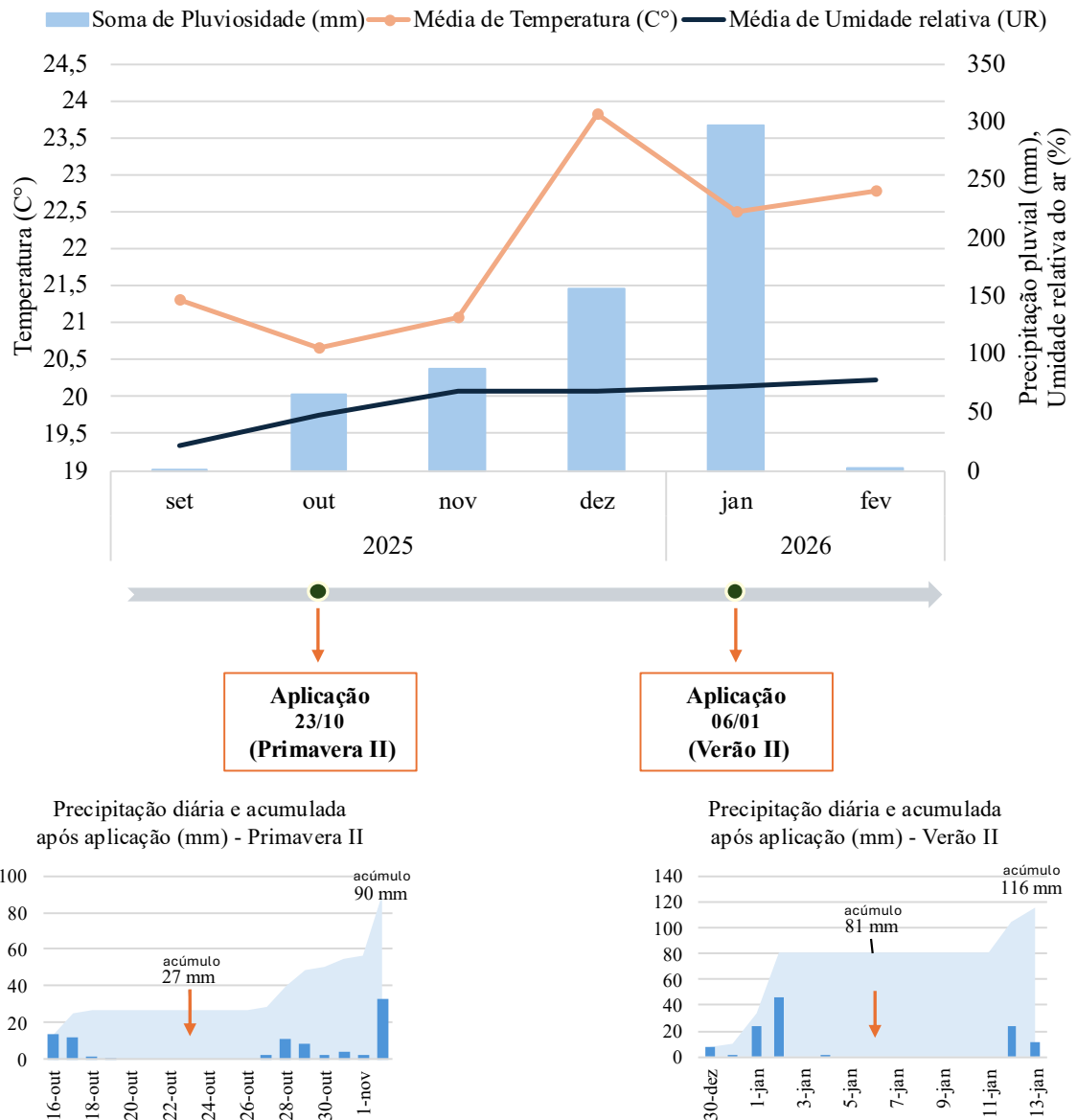


Figura 3. Dados meteorológicos do período experimental no ano agrícola II, incluindo precipitação pluvial mensal, temperatura média do ar e umidade relativa, bem como precipitação diária e acumulada antes e após aplicação dos herbicidas nas épocas de primavera e verão. As setas indicam as datas de aplicação dos herbicidas. Fonte: próprio autor a partir de dados da estação meteorológica (CCSM/IAC, Cordeirópolis-SP, 2026).

### 5.3. Levantamento fitossociológico

Para caracterizar a comunidade infestante da área experimental, foi realizado o levantamento fitossociológico considerando apenas as parcelas testemunhas, sem aplicação de herbicidas, utilizando-se a média das contagens de plantas daninhas obtidas em todas as avaliações realizadas ao longo das épocas experimentais e anos agrícolas. A partir desses dados, foram calculados os parâmetros fitossociológicos de frequência, densidade, abundância,

frequência relativa, densidade relativa, abundância relativa e o Índice de Valor de Importância (IVI), conforme metodologia proposta por Mueller-Dombois e Ellenberg (1974).

Equação 1 – Frequência

$$F = \frac{\text{número de parcelas que contém a espécie}}{\text{número total de parcelas}}$$

Equação 2 – Frequência relativa

$$Fr (\%) = \frac{\text{frequência da espécie}}{\text{frequência total de todas as espécies}} \times 100$$

Equação 3 – Densidade (plantas m<sup>-2</sup>)

$$D = \frac{\text{nº total de indivíduos por espécie}}{\text{área total amostrada}}$$

Equação 4 – Densidade relativa (%)

$$Dr (\%) = \frac{\text{densidade da espécie}}{\text{densidade total de todas as espécies}} \times 100$$

Equação 5 – Abundância

$$A = \frac{\text{nº total de indivíduos por espécie}}{\text{número de parcelas que contém a espécie}}$$

Equação 6 – Abundância relativa (%)

$$Ar (\%) = \frac{\text{abundância da espécie}}{\text{abundância total de todas as espécies}} \times 100$$

Equação 7 – Índice de valor de importância (%)

$$IVI (\%) = Fr + Dr + Ar$$

#### 5.4. Deposição da biomassa

As avaliações do experimento foram iniciadas na data da primeira roçagem da entrelinha, com o objetivo de quantificar a biomassa da cultura de cobertura depositada na linha de plantio do pomar. Para todas as roçagens, nos diferentes tratamentos, foi utilizado um gabarito de 0,25 m<sup>2</sup>, lançado aleatoriamente duas vezes por parcela (área amostral de 0,5 m<sup>2</sup>), direcionando a amostragem para a faixa da linha de plantio dos citros. Subamostras da biomassa foram coletadas, pesadas e secas em estufa a 60 ± 3 °C por 72 horas, para a obtenção dos valores de massa seca (MS). Os dados foram extrapolados para valores de MS em t ha<sup>-1</sup>, considerando a área da faixa da linha de plantio (projeção da copa dos citros) para a deposição de biomassa.

### **5.5. Controle de plantas daninhas**

No primeiro ano agrícola experimental, as avaliações de controle de plantas daninhas foram realizadas aos 15, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias após a aplicação (DAA), nas épocas de primavera de 2024 e verão de 2024/25. No segundo ano, as avaliações ocorreram até 180 DAA na primavera de 2025 e até 120 DAA no verão de 2025/26.

Em cada avaliação, as plantas daninhas emergidas nas parcelas experimentais foram identificadas e quantificadas em toda a área útil da parcela, possibilitando a estimativa da densidade total média de plantas daninhas, expressa em plantas m<sup>-2</sup>.

### **5.6. Desenvolvimento das plantas de citros**

O desenvolvimento das plantas foi avaliado por meio da medição do diâmetro de tronco das plantas de citros. A avaliação prévia foi realizada em dezembro/24, antes da aplicação dos tratamentos e a avaliação final em agosto/25, ao final das avaliações de controle de plantas daninhas do primeiro ano agrícola.

### **5.7. Análise dos Resultados**

Todos os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e posterior teste de comparação de médias pelo Teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). Os dados de densidade de plantas daninhas foram transformados por meio da transformação de raiz quadrada ( $\sqrt{x + 0,5}$ ), a fim de atender às premissas da ANOVA. As análises estatísticas foram realizadas utilizando os valores transformados, enquanto as médias apresentadas nos resultados correspondem aos dados originais. Adicionalmente, realizou-se análise de componentes principais (ACP) para avaliar o padrão multivariado da comunidade infestante entre manejos de roçagem e herbicidas. Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do software R (v 4.4.1) (R Core Team, 2024).

## **6. RESULTADOS**

### **6.1. Levantamento fitossociológico**

A comunidade infestante da área experimental foi composta por 12 espécies pertencentes a diferentes famílias botânicas (Amaranthaceae, Asteraceae, Brassicaceae, Convolvulaceae, Euphorbiaceae, Poaceae e Rubiaceae), com predominância de apaga-fogo, que apresentou o maior IVI (138,4%). As espécies picão-preto, nabiça e grama-seda também

apresentaram elevada importância, com IVI de 32,4%, 29,9% e 23,7, respectivamente (Tabela 7).

Tabela 7. Valores da frequência (F), frequência relativa (Fr), densidade (D), densidade relativa (Dr), abundância (A), abundância relativa (Ar) e índice de valor de importância (IVI), na comunidade de plantas daninhas identificadas nas parcelas testemunhas da área experimental

Nome comum	Espécie	Família	F	Fr	D	Dr	A	Ar	IVI
			(%)	(%)	(pl m <sup>-2</sup> )	(%)		(%)	(%)
Apaga-fogo	<i>Alternanthera tenella</i>	Amaranthaceae	0,8	13,7	10,0	68,5	11,8	56,2	138,4
Poaia-branca	<i>Richardia brasiliensis</i>	Rubiaceae	0,7	11,7	1,5	10,6	2,1	10,2	32,4
Nabiça	<i>Raphanus raphanistrum</i>	Brassicaceae	0,9	14,5	1,3	8,7	1,4	6,7	29,9
Gramma-seda	<i>Cynodon dactylon</i>	Poaceae	0,2	3,6	0,7	4,8	3,2	15,3	23,7
Capim-braquiária	<i>Urochloa ruziziensis</i>	Poaceae	0,7	11,5	0,3	1,9	0,4	1,9	15,3
Capim-colchão	<i>Digitaria horizontalis</i>	Poaceae	0,5	8,7	0,3	1,9	0,5	2,4	12,9
Corde-de-viola	<i>Ipomoea triloba</i>	Convolvulaceae	0,6	10,4	0,1	0,6	0,1	0,6	11,6
Picão-preto	<i>Bidens pilosa</i>	Asteraceae	0,3	5,6	0,3	1,9	0,8	3,7	11,2
Capim-pé-de-galinha	<i>Eleusine indica</i>	Poaceae	0,4	6,9	0,0	0,3	0,1	0,5	7,7
Erva-de-Santa-Luzia	<i>Euphorbia hirta</i>	Euphorbiaceae	0,2	3,8	0,1	0,6	0,4	1,9	6,3
Erva-quente	<i>Spermacoce latifolia</i>	Rubiaceae	0,3	5,3	0,0	0,2	0,1	0,4	5,9
Corde-de-viola	<i>Ipomoea quamoclit</i>	Convolvulaceae	0,3	4,3	0,0	0,1	0,1	0,3	4,7

## 6.2. Deposição da biomassa

Ao analisar os dados de deposição de biomassa da cultura de cobertura, observa-se que as roçagens no manejo ecológico (ECO) realizadas no primeiro ano experimental, em dez/2024 (1), jan/2025 (2), mar/2025 (3) e abr/2025 (4), foram responsáveis pela deposição de 0,1 + 2,2 + 2,6 + 1,7 t ha<sup>-1</sup> na primavera e 0,2 + 1,7 + 2,2 + 1,7 t ha<sup>-1</sup> no verão. No segundo ano experimental, foram realizadas quatro roçagens, em dez/2025 (5), jan/26 (6), mar/2026 (7) e mai/2026 (8), resultando na deposição de 1,0 + 2,9 + 3,1 + 1,6 t ha<sup>-1</sup> na primavera e 1,0 + 1,3 + 2,2 + 1,4 t ha<sup>-1</sup> no verão (Figura 4).

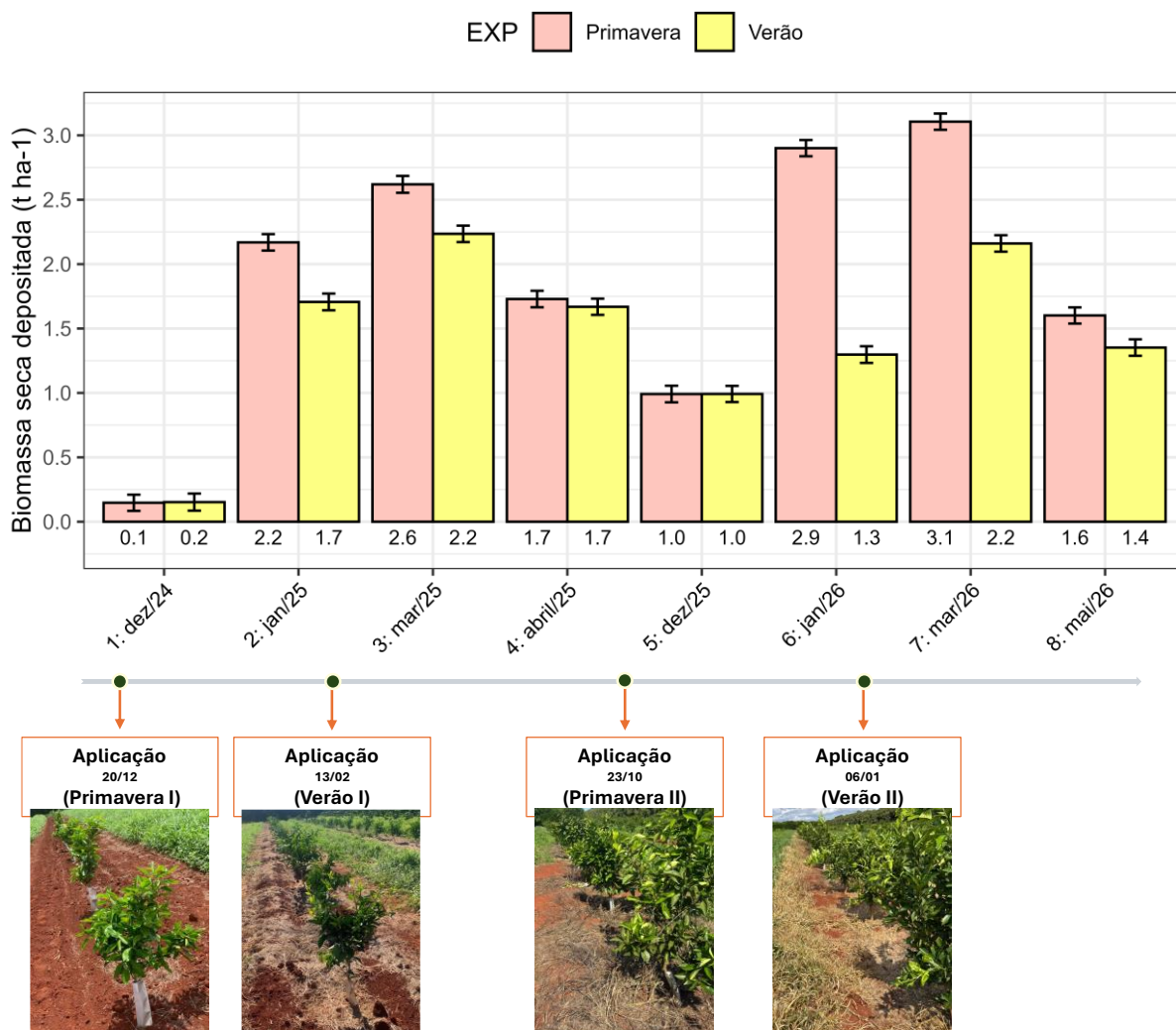


Figura 4. Deposição de biomassa na linha de plantio (ao redor das plantas de citros) pela roçagem ecológica (ECO) realizadas nos experimentos de primavera e verão, nos dois anos experimentais (ano agrícola I: 2024/2025; ano agrícola II: 2025/2026). As barras representam o erro-padrão da média. As imagens ilustram a condição da área no momento da aplicação dos herbicidas em cada época experimental, evidenciando o estado da cobertura do solo proporcionada pela roçagem ECO.

Observa-se que, devido à fase inicial de crescimento da cultura de cobertura em dez/2024, a primeira roçagem resultou em menor quantidade de biomassa acumulada. Esse resultado era esperado, uma vez que se tratava da primeira roçagem após a implantação da cultura de cobertura.

Destaca-se ainda que o experimento de primavera do primeiro ano experimental, foi iniciado com a aplicação dos herbicidas sobre uma camada irrisória de palhada proveniente da roçagem ( $< 0,20 \text{ t ha}^{-1}$ ), devido ao fato de que a *U. ruziziensis* havia sido semeada cerca de um mês antes da roçagem, não havendo tempo suficiente para o acúmulo significativo de biomassa, enquanto as demais épocas experimentais se iniciaram com uma camada mais significativa de palhada, resultante das roçagens subsequentes.

### 6.3. Controle de plantas daninhas

#### 6.3.1. Primavera ano 1 (2024)

Na primavera do primeiro ano, os tratamentos herbicidas não diferiram estatisticamente entre si dentro de cada data avaliada. Da mesma forma, não foram observadas diferenças entre os manejos de roçagem ecológica (ECO) e convencional (CONV) ao longo das avaliações. Entretanto, observou-se elevada infestação natural da área nas parcelas de testemunhas (CONV e ECO), com aumento acentuado da densidade de plantas daninhas ao longo do tempo. Diferenças estatísticas entre os tratamentos com herbicidas e a testemunha passaram a ser observadas a partir de 120 DAA, quando a testemunha apresentou densidades de 121,38 e 103,66 plantas  $m^{-2}$  nas roçagens CONV e ECO, respectivamente, enquanto os tratamentos com herbicidas apresentaram valores significativamente inferiores, variando entre 1,99 e 22,86 plantas  $m^{-2}$  (Figura 5).

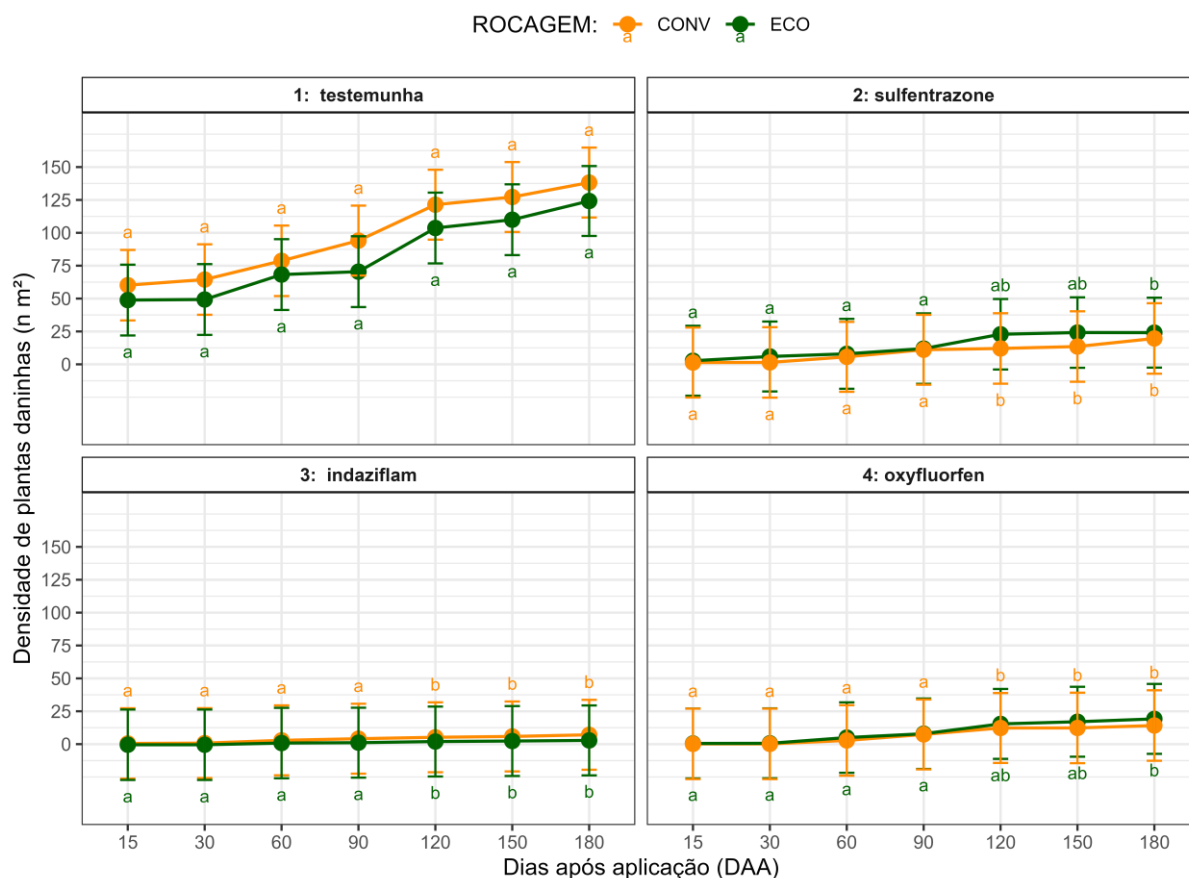


Figura 5. Densidade de plantas daninhas (plantas  $m^{-2}$ ) ao longo do tempo (DAA) nos diferentes tratamentos, sob manejos de roçagem ecológica (ECO) e convencional (CONV) do experimento primavera I. Os pontos representam as médias e as barras correspondem ao erro-padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) na comparação entre tratamentos dentro de cada manejo de roçagem e em

cada data de avaliação. O asterisco (\*) indica diferença significativa entre os manejos de roçagem (CONV e ECO) dentro do mesmo tratamento e data de avaliação ( $p \leq 0,05$ ). As médias detalhadas utilizadas para a construção do gráfico estão apresentadas nos Anexos.

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada com base na densidade média das espécies de plantas daninhas aos 180 DAA, com o intuito de se observar a evolução da comunidade de plantas daninhas até o último dia de avaliação. Observou-se separação entre os manejos de roçagem (pelas elipses), sendo que os tratamentos com roçagem ecológica (ECO) apresentaram maior associação com poaia-branca, enquanto os tratamentos com roçagem convencional (CONV) estiveram mais relacionados à grama-seda, erva-quente, erva-de-sta-luzia, capim-pé-de-galinha e nabiça. Os tratamentos posicionados do lado negativo do eixo do componente principal 1 (Dim 1) apresentaram menor associação com as espécies de plantas daninhas, com destaque para o indaziflam, independentemente do sistema de roçagem (Figura 6).

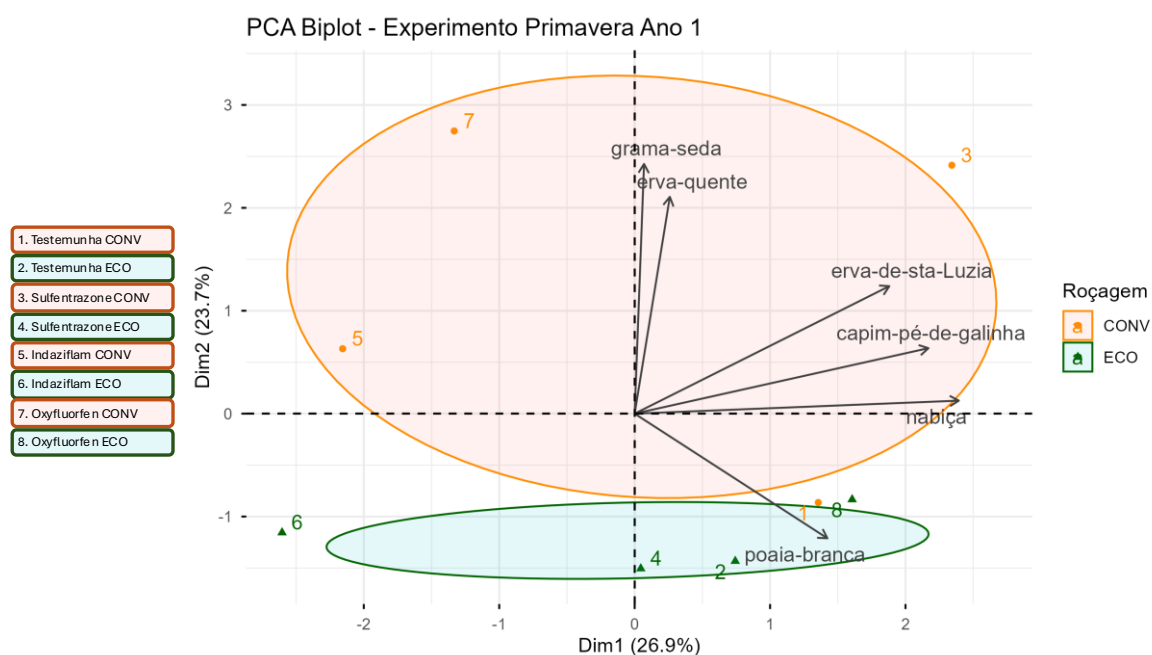


Figura 6. Biplot da análise de componentes principais (ACP) baseado na densidade média das espécies de plantas daninhas aos 180 dias após a aplicação (DAA) nos diferentes tratamentos sob manejos de roçagem convencional (CONV) e ecológica (ECO) do experimento primavera I. Os pontos representam os tratamentos e as setas indicam a contribuição das espécies de plantas daninhas para a ordenação dos componentes principais. Dim1 e Dim2 explicam 32,7% e 21,9% da variação total dos dados, respectivamente. As elipses representam a dispersão da comunidade de plantas daninhas dentro de cada manejo de roçagem.

### 6.3.2. Verão ano 1 (2024/25)

No verão do primeiro ano, os tratamentos herbicidas apresentaram resultados semelhantes entre si dentro de cada data avaliada. Nas testemunhas (ECO e CONV), observou-se aumento gradual, porém de baixo valor, na densidade de plantas daninhas ao longo do tempo,

com 14,80 e 22,27 plantas  $m^{-2}$ , nas roçagens CONV e ECO, respectivamente, aos 180 DAA. Nesse contexto, diferenças entre os tratamentos herbicidas e a testemunha passaram a ser observadas a partir de 120 DAA para o indaziflam + ECO, com densidade de 4,19 plantas  $m^{-2}$ , enquanto a testemunha apresentou 17,87 plantas  $m^{-2}$ . Para o sulfentrazone + ECO, as diferenças ocorreram a partir de 150 DAA, com 11,15 plantas  $m^{-2}$ , em comparação a 22,27 plantas  $m^{-2}$  na testemunha. Já para o oxyfluorfen + CONV, as diferenças foram observadas a partir de 150 DAA, com densidade de 2,69 plantas  $m^{-2}$ , enquanto a testemunha apresentou 14,80 plantas  $m^{-2}$ . Em relação aos manejos de roçagem, houve diferença apenas para o oxyfluorfen, sendo observada maior densidade de plantas daninhas na roçagem ECO em comparação a CONV, a partir de 90 DAA, com valores de 11,42 e 2,35 plantas  $m^{-2}$ , respectivamente (Figura 7).

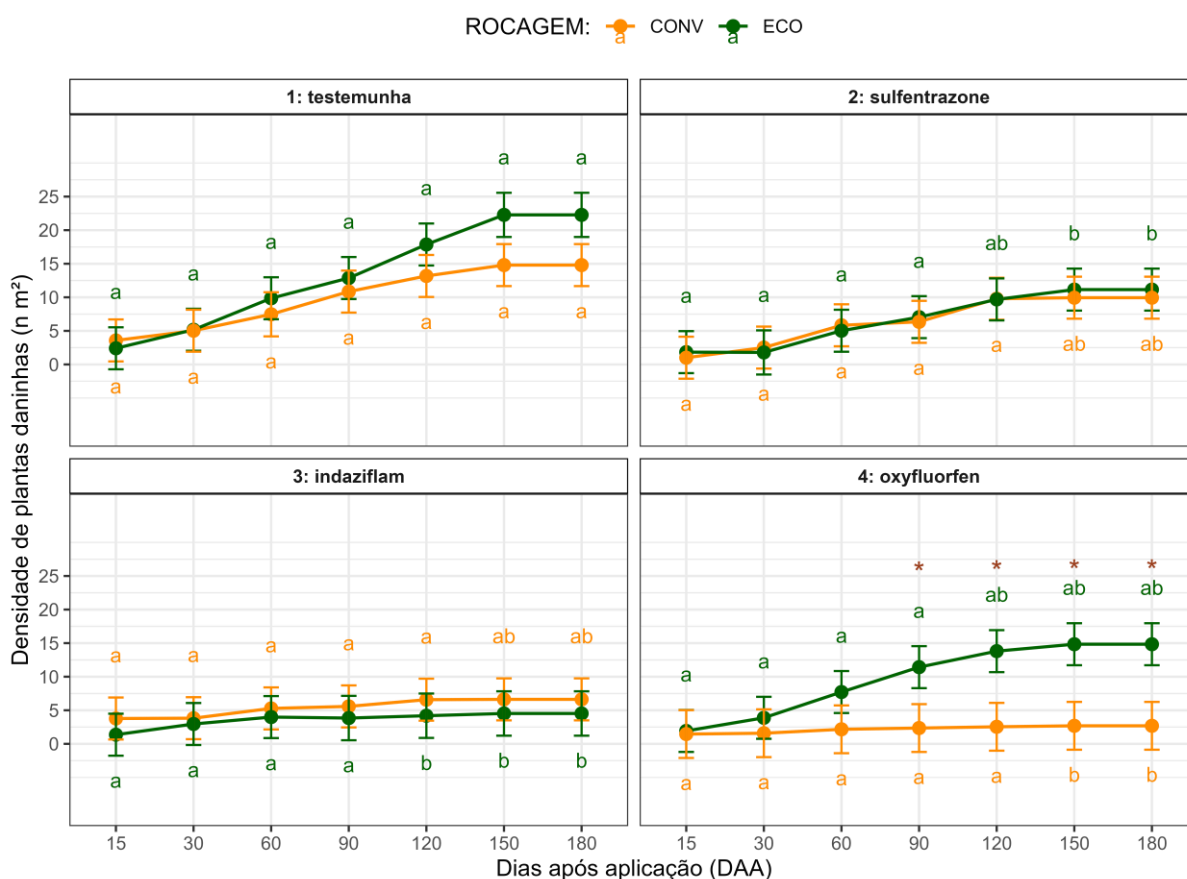


Figura 7. Densidade de plantas daninhas (plantas  $m^{-2}$ ) ao longo do tempo (DAA) nos diferentes tratamentos, sob manejos de roçagem ecológica (ECO) e convencional (CONV), do experimento verão I. Os pontos representam as médias e as barras correspondem ao erro-padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) na comparação entre tratamentos dentro de cada manejo de roçagem e em cada data de avaliação. O asterisco (\*) indica diferença significativa entre os manejos de roçagem (CONV e ECO) dentro do mesmo tratamento e época de avaliação ( $p \leq 0,05$ ). As médias detalhadas utilizadas para a construção do gráfico estão apresentadas nos Anexos.

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada com base na densidade média das espécies de plantas daninhas aos 180 DAA. Evidenciou-se clara separação entre os manejos

(pelas elipses). Os tratamentos com manejo convencional estiveram associados principalmente à grama-seda e a corda-de-viola, enquanto o manejo com roçagem ecológica esteve associado a nabiça, poaia-branca e apaga-fogo. Observa-se ainda que espécies como erva-de-santa-Luzia, capim-colchão, erva-quente, capim-pé-de-galinha, poaia-branca e apaga-fogo estiveram mais associadas às testemunhas, sugerindo que sua ocorrência foi influenciada principalmente pela ausência de controle químico. Os tratamentos posicionados do lado negativo do eixo componente principal 1 (Dim 1) como indaziflam (CONV e ECO), sulfentrazone CONV e o oxyfluorfen CONV, apresentaram menor associação com a maioria das espécies de plantas daninhas, indicando menor densidade dessas espécies nesses tratamentos. Além disso, observa-se o oxyfluorfen + ECO apresentou maior proximidade com a nabiça, sugerindo associação mais evidente entre esse tratamento e essa espécie (Figura 8).

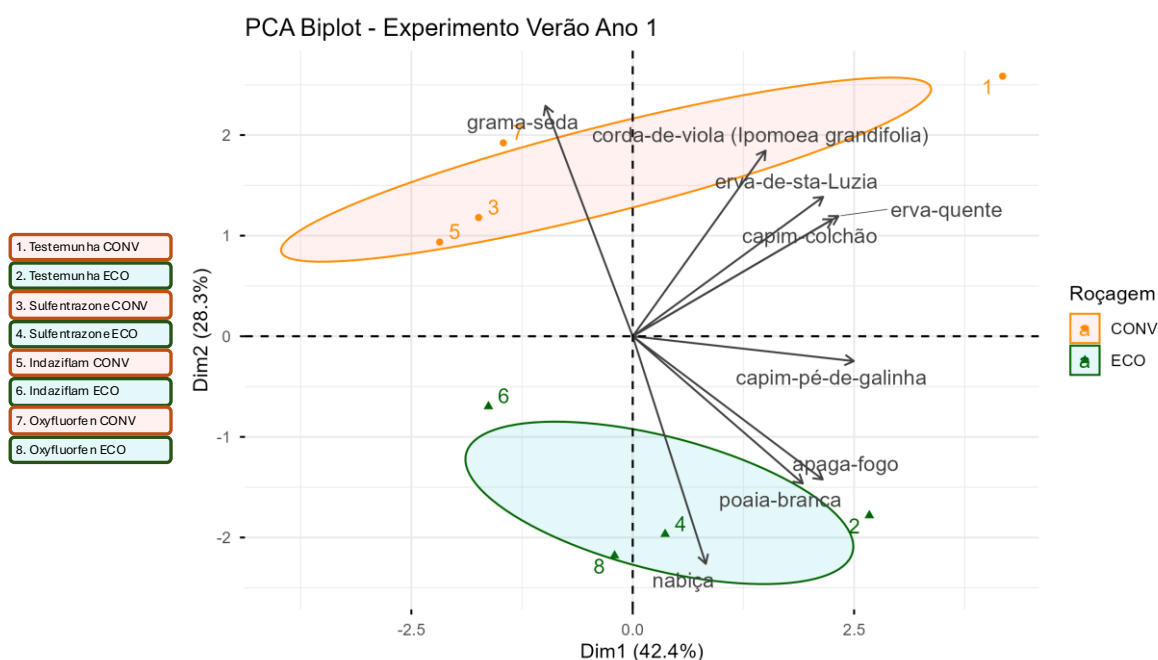


Figura 8. Biplot da análise de componentes principais (ACP) baseado na densidade média das espécies de plantas daninhas aos 180 dias após a aplicação (DAA) nos diferentes tratamentos sob manejos de roçagem convencional (CONV) e ecológica (ECO), do experimento verão I. Os pontos representam os tratamentos e as setas indicam a contribuição das espécies de plantas daninhas para a ordenação dos componentes principais. Dim1 e Dim2 explicam 46,1% e 26% da variação total dos dados, respectivamente. As elipses representam a dispersão da comunidade de plantas daninhas dentro de cada manejo de roçagem.

### 6.3.3. Primavera ano 2 (2025)

Na primavera do segundo ano, observou-se aumento progressivo na densidade de plantas daninhas ao longo do tempo nas parcelas testemunhas (ECO e CONV), demonstrando elevada infestação natural da área, atingindo 151,42 e 157,62 plantas  $m^{-2}$  aos 180 DAA para CONV e ECO, respectivamente. Para o sulfentrazone, ocorreu aumento na densidade de plantas

daninhas ao longo do tempo, porém com diferença em relação à testemunha a partir de 30 DAA, demonstrando controle, com densidades de 12,23 plantas  $m^{-2}$  no manejo CONV e 15,41 plantas  $m^{-2}$  no manejo ECO, enquanto a testemunha apresentou 36,00 e 31,20 plantas  $m^{-2}$ , respectivamente. O indaziflam manteve baixa densidade de plantas daninhas em todas as avaliações, com valores inferiores a 10 plantas  $m^{-2}$  em ambos os manejos. No manejo com roçagem ecológica, apresentou o maior nível de controle entre os tratamentos a partir de 60 DAA, com 1,33 plantas  $m^{-2}$ , atingindo 4,27 plantas  $m^{-2}$  aos 180 DAA. O oxyfluorfen diferiu da testemunha em todas as datas avaliadas, apresentando aumento na densidade de plantas daninhas ao longo do das avaliações, especialmente quando associado ao manejo de roçagem ecológica. Diferenças entre os manejos de roçagem foram observadas para sulfentrazone e oxyfluorfen, a partir de 60 DAA, com maior densidade de plantas daninhas no manejo de roçagem ecológica, quando para o oxyfluorfen foram registradas 30,37 plantas  $m^{-2}$  sob ECO e 5,11 plantas  $m^{-2}$  no CONV, para o sulfentrazone, os valores foram de 39,70 e 20,73 plantas  $m^{-2}$ , respectivamente. Para o indaziflam, não foram observadas diferenças entre os manejos (Figura 9).

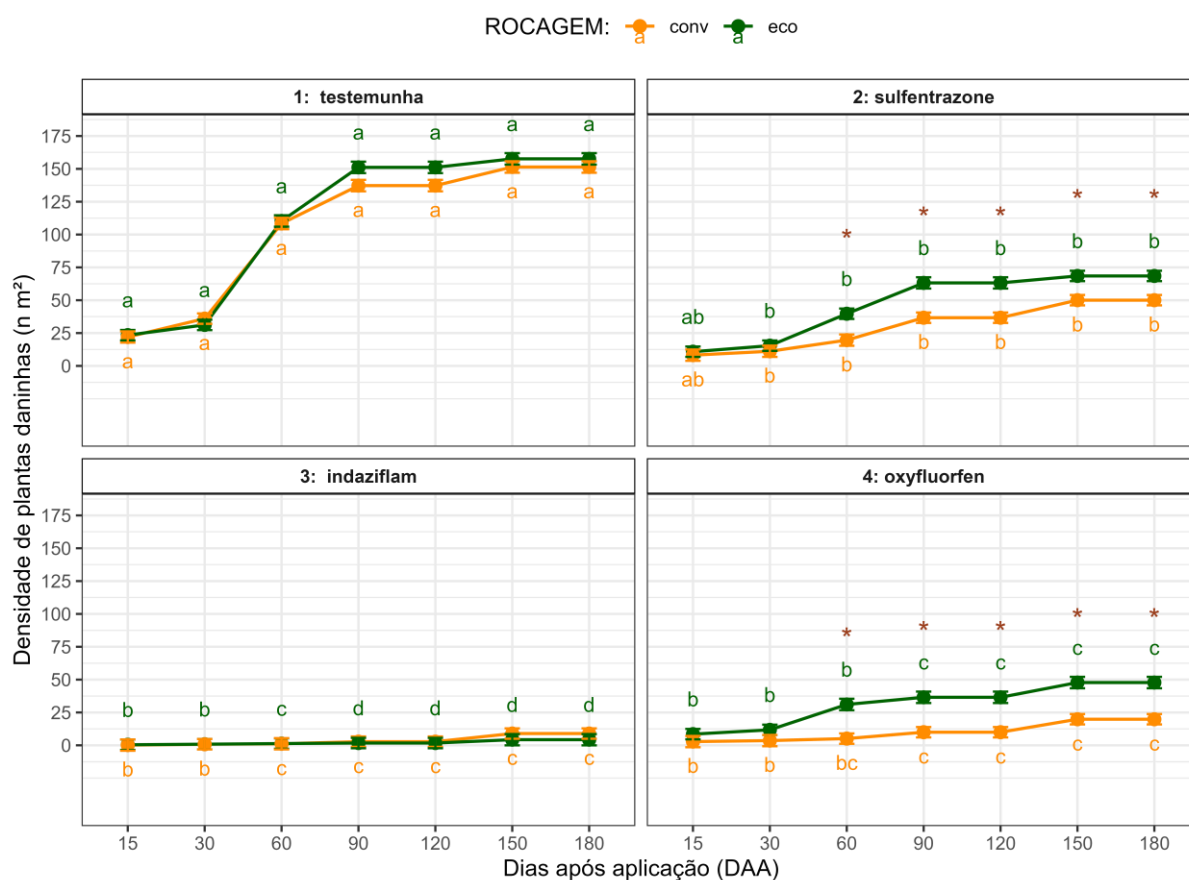


Figura 9. Densidade de plantas daninhas (plantas  $m^{-2}$ ) ao longo do tempo (DAA) nos diferentes tratamentos, sob manejos de roçagem ecológica (ECO) e convencional (CONV), do experimento primavera II. Os pontos representam as médias e as barras correspondem ao erro-padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem

entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) na comparação entre tratamentos dentro de cada manejo de roçagem e em cada data de avaliação. O asterisco (\*) indica diferença significativa entre os manejos de roçagem (CONV e ECO) dentro do mesmo tratamento e época de avaliação ( $p \leq 0,05$ ). As médias detalhadas utilizadas para a construção do gráfico estão apresentadas nos Anexos.

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada com base na densidade média das espécies de plantas daninhas aos 180 DAA. No eixo componente principal 1 (Dim1), os tratamentos com indaziflam, tanto ECO quanto CONV, posicionaram-se no lado negativo do eixo, indicando menor associação com as espécies presentes na área, juntamente ao oxyfluorfen CONV. Por outro lado, sulfentrazone CONV e ECO e oxyfluorfen ECO apresentaram maior associação com as plantas daninhas. O sulfentrazone CONV e ECO apresentaram maior associação com poaia-branca, erva-quente, capim-pé-de-galinha e nabiça. O tratamento oxyfluorfen ECO esteve associado a corda-de-viola (*Ipomoea quamoclit*) e ao picão-preto. Em relação aos manejos de roçagem, observou-se sobreposição entre as elipses, indicando semelhança na composição das espécies de plantas daninhas entre os sistemas de roçagem avaliados (Figura 10).

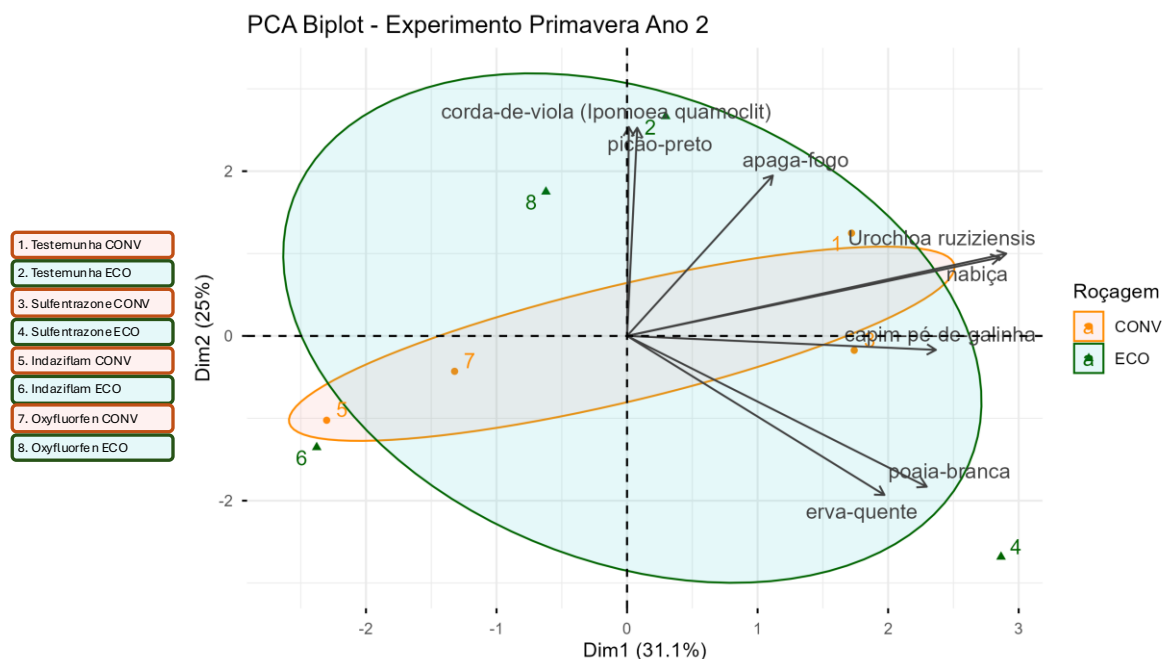


Figura 10. Biplot da análise de componentes principais (ACP) baseado na densidade média das espécies de plantas daninhas aos 180 dias após a aplicação (DAA) nos diferentes tratamentos sob manejos de roçagem convencional (CONV) e ecológica (ECO), do experimento primavera II. Os pontos representam os tratamentos e as setas indicam a contribuição das espécies de plantas daninhas para a ordenação dos componentes principais. Dim1 e Dim2 explicam 32,6% e 23,5% da variação total dos dados, respectivamente. As elipses representam a dispersão da comunidade de plantas daninhas dentro de cada manejo de roçagem.

#### 6.3.4. Verão ano 2 (2025/26)

No verão do segundo ano, a testemunha apresentou aumento na densidade de plantas daninhas nas épocas avaliadas, aos 120 DAA, foram registradas 41,72 e 31,94 plantas  $m^{-2}$  nos

manejos CONV e ECO, respectivamente. O sulfentrazone não diferiu estatisticamente da testemunha em nenhuma das avaliações realizadas. Destaca-se o indaziflam, que manteve desempenho estável, especialmente na roçagem ECO, apresentando densidade média inferior a 2 plantas  $m^{-2}$  aos 120 DAA. Já o oxyfluorfen apresentou aumento na densidade de plantas daninhas, principalmente no manejo com roçagem ecológica, diferindo do manejo convencional a partir dos 60 DAA, com valores de 2,83 e 19,50 plantas  $m^{-2}$ , respectivamente, indicando redução do controle de plantas daninhas associada à presença de *mulch* (Figura 11).

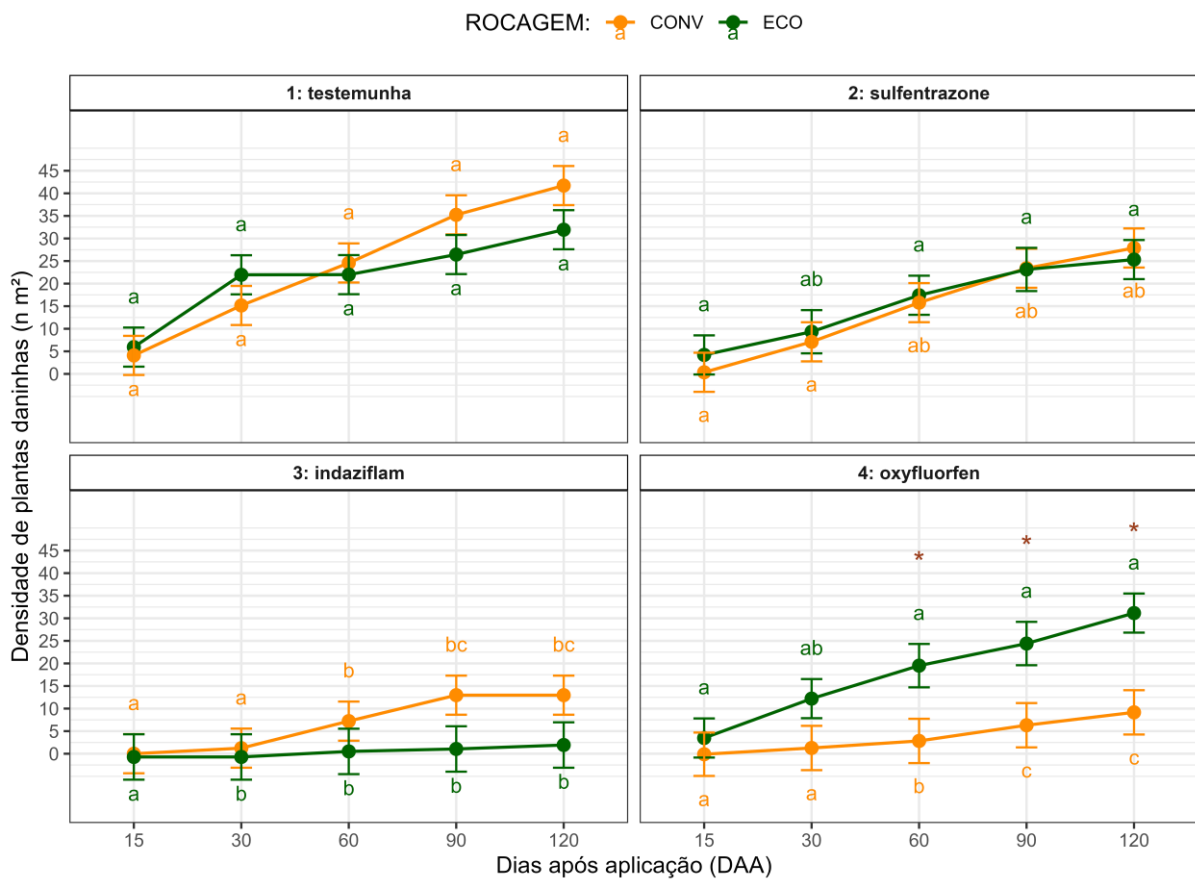


Figura 11. Densidade de plantas daninhas (plantas  $m^{-2}$ ) ao longo do tempo (DAA) nos diferentes tratamentos, sob manejos de roçagem ecológica (ECO) e convencional (CONV), do experimento verão II. Os pontos representam as médias e as barras correspondem ao erro-padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) na comparação entre tratamentos dentro de cada manejo de roçagem e em cada data de avaliação. O asterisco (\*) indica diferença significativa entre os manejos de roçagem (CONV e ECO) dentro do mesmo tratamento e época de avaliação ( $p \leq 0,05$ ). As médias detalhadas utilizadas para a construção do gráfico estão apresentadas nos Anexos.

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada com base na densidade média das espécies de plantas daninhas aos 120 DAA. Evidenciou-se separação entre os manejos de roçagem (pelas elipses), sugerindo diferenças na composição das espécies de plantas daninhas. Os tratamentos sob roçagem convencional tiveram maior associação com grama-seda e erva-quente. Por outro lado, os tratamentos sob roçagem ecológica ficaram próximos principalmente

a picão-preto, nabiça e corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*). Observou-se ainda que a maioria das espécies de plantas daninhas esteve mais associada às testemunhas (CONV e ECO), indicando maior densidade dessas espécies na ausência de herbicidas. Em relação ao eixo componente principal 2 (Dim2), os tratamentos com indaziflam (ECO e CONV), assim como oxyfluorfen CONV, posicionaram-se no lado oposto à maioria das espécies de plantas daninhas, indicando menor associação com a densidade dessas espécies. Além disso, os tratamentos sulfentrazone e oxyfluorfen sob manejo ECO apresentaram associação com a nabiça, picão-preto, corda-de-viola, apaga-fogo e capim-pé-de-galinha. Já os tratamentos herbicidas sob manejo CONV apresentaram associação com grama-seda (Figura 12).

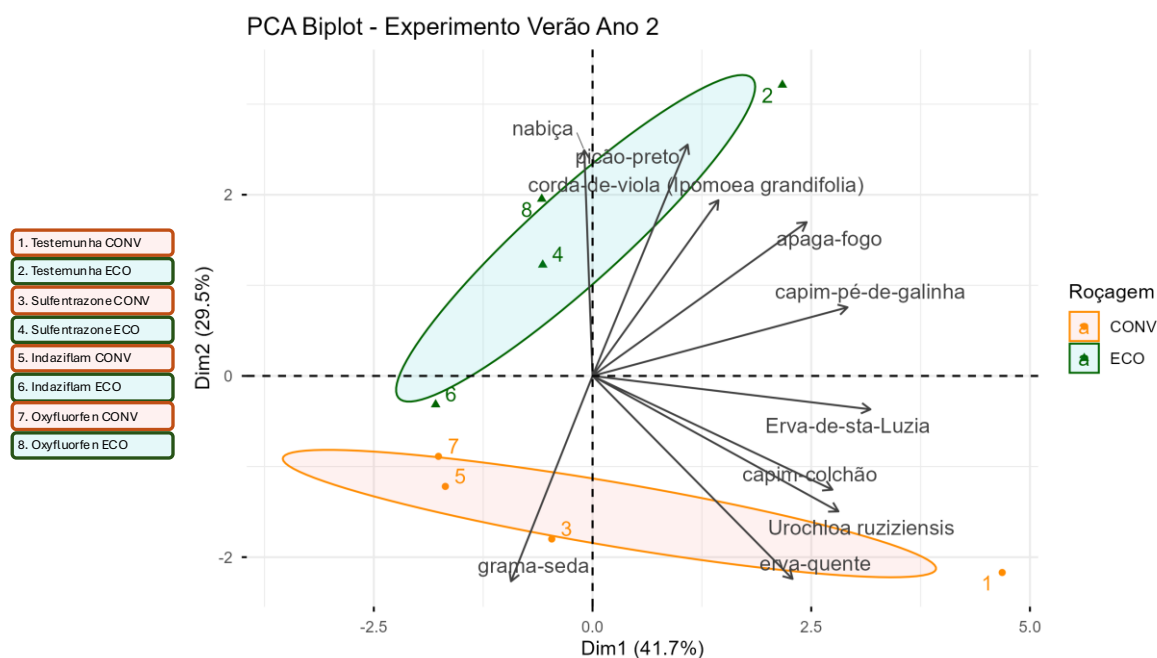


Figura 12. Biplot da análise de componentes principais (ACP) baseado na densidade média das espécies de plantas daninhas aos 120 dias após a aplicação (DAA) nos diferentes tratamentos sob manejos de roçagem convencional (CONV) e ecológica (ECO), do experimento verão II. Os pontos representam os tratamentos e as setas indicam a contribuição das espécies de plantas daninhas para a ordenação dos componentes principais. Dim1 e Dim2 explicam 42,1% e 29,3% da variação total dos dados, respectivamente. As elipses representam a dispersão da comunidade de plantas daninhas dentro de cada manejo de roçagem.

#### 6.4. Desenvolvimento das plantas de citros

Ao final do ano agrícola I, no experimento conduzido na primavera, não foram observadas diferenças significativas entre os manejos de roçagem dentro de cada tratamento para o incremento no diâmetro do tronco das plantas de citros. Entretanto, houve diferença entre os tratamentos dentro de cada manejo, sendo que a testemunha apresentou menor incremento em relação ao indaziflam em ambas as roçagens. Nesse caso, as testemunhas apresentaram

incrementos de 0,4 e 0,7 cm, enquanto o indaziflam apresentou incrementos de 1,3 e 1,6 cm, nos manejos CONV e ECO, respectivamente. Já no experimento conduzido no verão, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos ou entre as roçagem para o incremento do diâmetro do tronco (Figura 13).

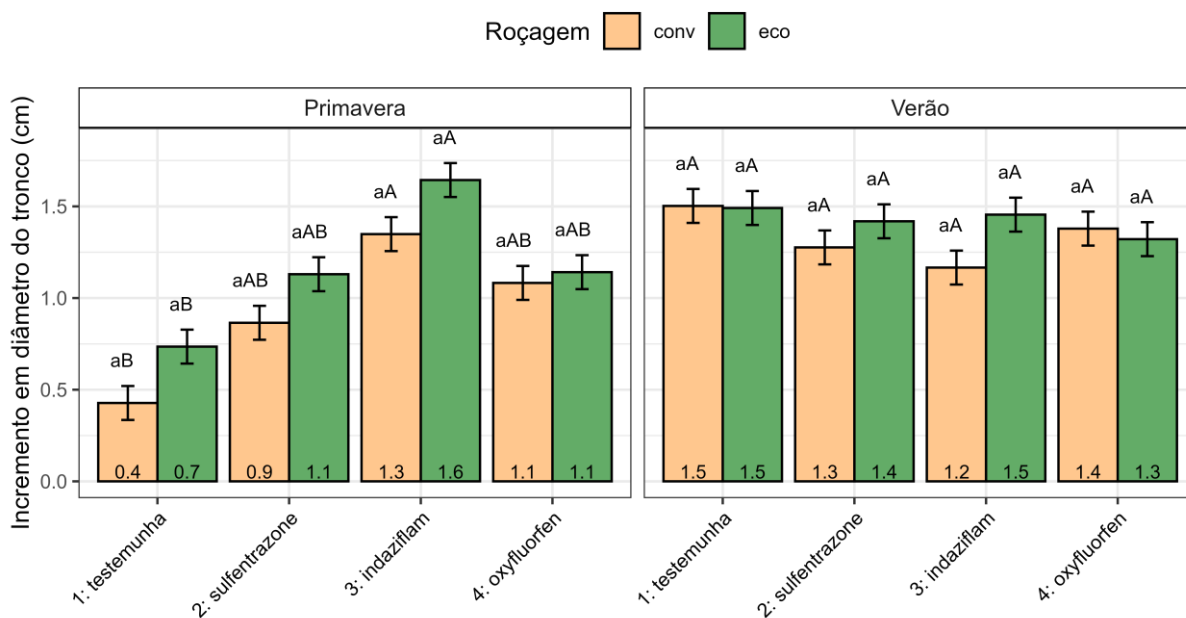


Figura 13. Incremento no diâmetro do tronco de plantas de citros (cm), entre dezembro de 2024 e agosto de 2025 (ano agrícola I), em função dos manejos de roçagem (CONV e ECO) e dos tratamentos. As barras representam o erro-padrão. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si na comparação entre manejos de roçagem dentro de cada tratamento e médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si na comparação entre tratamentos dentro de cada manejo de roçagem, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

## 7. DISCUSSÃO

### 7.1. Efeito dos herbicidas no controle de plantas daninhas

Na primavera do primeiro ano agrícola, não houve efeito do manejo de roçagem em função da ausência de palha de *U. ruzizensis* no momento da aplicação (Figura 4). Nessa condição de solo descoberto, possivelmente a dinâmica de emergência de plantas daninhas foi determinada principalmente pela atividade residual dos herbicidas. Nas primeiras 24 horas após a aplicação foi registrada precipitação de 34 mm, e nos primeiros sete dias o total acumulado atingiu 116 mm (Figura 2). Dessa forma, a elevada eficácia observada para os tratamentos está associada ao regime hídrico favorável, com chuvas significativas logo após a aplicação, garantindo adequada incorporação do herbicida no solo (Carbonari *et al.*, 2016; de Matos *et al.*, 2016).

No verão do primeiro ano agrícola, as condições de precipitação foram menos favoráveis à incorporação inicial dos herbicidas. Apesar de haver 35 mm acumulados nos sete dias anteriores à aplicação, após a aplicação ocorreu apenas 7 mm até 7 DAA, com chuva mais expressiva somente aos 29 DAA (Figura 2). A menor disponibilidade de umidade no solo provavelmente reduziu a germinação do banco de sementes, resultando em menor infestação natural da área e retardando as diferenças entre as testemunhas e os herbicidas, uma vez que a emergência de plantas daninhas depende da disponibilidade hídrica no solo (Benech-Arnold *et al.*, 2000; Chauhan; Johnson, 2010).

Na primavera do segundo ano, as condições de umidade do solo foram favoráveis à ativação dos herbicidas residuais após a aplicação. Houve acúmulo de 26 mm de precipitação nos sete dias anteriores à aplicação e a primeira precipitação considerável (>15 mm) ocorreu aos 10 DAA (33 mm), totalizando 89 mm até esse período (Figura 3).

No verão do segundo ano, o comportamento dos tratamentos foi influenciado pelas condições favoráveis de umidade do solo no momento da aplicação. Apesar de a primeira precipitação ter ocorrido aos 6 DAA (24 mm), houve acúmulo de 81 mm nos sete dias anteriores e 116 mm até 7 DAA (Figura 3), o que contribuiu para o bom desempenho observado nos tratamentos herbicidas nessa época.

O sulfentrazone, no verão do ano agrícola I, apresentou comportamento semelhante entre os manejos de roçagem, indicando que sua eficácia não foi influenciada pela presença de *mulch* sobre o solo. Esse comportamento pode ser explicado pelas propriedades físico-químicas do sulfentrazone, como elevada solubilidade em água (110 mg L<sup>-1</sup>), caráter hidrofílico (Log Kow = 1,48) e baixa adsorção ao solo (Koc = 43 mL g<sup>-1</sup>). Essas características reduzem a interceptação pela palha e favorecem sua transposição para o solo, aumentando a disponibilidade do herbicida na solução do solo e sua atuação na zona de germinação das sementes (Carbonari, *et al.* 2016; Da Silva *et al.*, 2024).

Além disso, a presença de umidade no sistema antes da aplicação, observada no verão do ano I, pode ter favorecido ainda mais esse processo. Em estudo conduzido para avaliar o movimento de herbicidas através da palha em sistemas de plantio direto, Santos *et al.* (2022) verificaram que o sulfentrazone apresentou elevada capacidade de transpor palha de cana-de-açúcar (10 t ha<sup>-1</sup>), quando aplicado sobre palha seca, aproximadamente 74% do herbicida atravessou a palha após eventos de precipitação simulada, já em condições de palha previamente umedecida, por meio da simulação de 25 mm de precipitação antes da aplicação, a movimentação do herbicida atingiu cerca de 99% de transposição após a ocorrência de chuvas

simuladas entre 50 e 100 mm. Esses resultados indicam que a presença de umidade prévia no *mulch* reduz a retenção do herbicida.

Na primavera do segundo ano, embora o sulfentrazone tenha apresentado controle das plantas daninhas, seu desempenho foi inferior ao observado nos demais herbicidas, principalmente no manejo de roçagem ecológica. Sobre a comunidade infestante, foi notado que sulfentrazone, em associação a CONV e/ou a ECO selecionou espécies não contempladas em seu espectro de controle (Tabela 5), sugerindo alteração na composição da comunidade infestante, decorrente da redução da competição exercida pelas espécies suscetíveis e da predominância de espécies menos ou não sensíveis ao herbicida (Humann-Guillemintot *et al.*, 2025).

No verão do segundo ano, o comportamento do sulfentrazone também foi influenciado pela composição da comunidade infestante. Embora tenha mantido densidades inferiores às da testemunha, observou-se incremento gradual da infestação ao longo do tempo. A comunidade infestante demonstrou associação do sulfentrazone + ECO principalmente com nabiça, espécie que não consta em seu espectro de controle (Tabela 5).

Além da predominância de espécies menos ou não sensíveis ao herbicida, essa associação pode estar relacionada às condições impostas pelo *mulch* uma vez que a cobertura vegetal modifica condições ambientais na superfície do solo, como disponibilidade de luz, temperatura e umidade, podendo suprimir espécies fotoblásticas positivas e favorecer fotoblásticas negativas (Redin *et al.*, 2016; Bento; Bastiani, 2020). A nabiça é considerada uma espécie fotoblástica negativa, apresentando germinação favorecida sob condições de sombreamento (Górski *et al.*, 2013). Em sistemas de manejo de roçagem ecológica em citros com formação de *mulch*, alterações na dinâmica populacional de plantas daninhas, incluindo a nabiça, já foram relatadas, indicando possível adaptação dessa espécie às condições impostas pelo *mulch* (Martinelli *et al.*, 2022).

Ainda sobre a comunidade infestante, houve associação do sulfentrazone + CONV com a presença de grama-seda na comunidade infestante. No presente experimento, a ocorrência dessa espécie provavelmente não esteve associada à emergência a partir de sementes presentes no banco de sementes do solo, mas sim à invasão por estolões provenientes das entrelinhas do pomar. A grama-seda apresenta propagação predominantemente vegetativa, com rápida expansão lateral por estolões, característica que favorece sua colonização a partir de áreas adjacentes, além disso seu crescimento é reduzido em períodos mais frios e intensificado durante o verão, podendo alcançar expansão lateral superior a 2 m por mês durante a estação

quente (Horowitz, 1972). Esse padrão auxilia na explicação da maior ocorrência da espécie em períodos mais quentes do experimento, quando as condições térmicas favorecem seu crescimento vegetativo.

Embora o sulfentrazone possua recomendação de bula para o controle de grama-seda, sua principal ação ocorre durante o processo de germinação e emergência das plântulas (Gehrke *et al.*, 2020), o que pode reduzir sua eficiência sobre plantas estabelecidas a partir de estruturas vegetativas. Além disso, o herbicida apresenta mobilidade moderada no solo. Em solos argilosos, estudos indicam que o sulfentrazone tende a concentrar-se predominantemente em profundidades próximas de 10 cm, dependendo da precipitação ou da disponibilidade hídrica após a aplicação (Passos *et al.*, 2015; Silva Junior *et al.*, 2016). Dessa forma, a associação observada entre sulfentrazone e grama-seda na comunidade infestante não necessariamente indica falha no controle do herbicida sobre sementes ou plântulas em emergência, mas possivelmente reflete o desenvolvimento vegetativo da espécie a partir de estruturas propagativas externas às parcelas experimentais.

Em relação ao indaziflam, de modo geral, apresentou comportamento estável nas épocas experimentais e não foi influenciado pelos manejos de roçagem, apresentando, de forma consistente, menor associação com a densidade de espécies da comunidade infestante. No verão do primeiro ano agrícola, mesmo sob condições de menor precipitação após a aplicação, o herbicida apresentou ótimo desempenho. Esse comportamento pode estar relacionado acúmulo de precipitação antes da aplicação dos herbicidas (Figura 3), que pode ter promovido maior umidade no sistema e favorecido a transposição do herbicida através do *mulch*. Santos *et al.* (2022) avaliaram a movimentação de herbicidas através de palha de cana-de-açúcar ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ), e observaram que o indaziflam apresentou 34,4% de transposição quando aplicado sobre palha seca, enquanto em palha previamente umedecida antes da aplicação essa movimentação aumentou para aproximadamente 79% após chuvas simuladas, evidenciando a influência da umidade na dinâmica do herbicida.

Além disso, o desempenho do indaziflam pode ser atribuído às suas propriedades físico-químicas, caracterizadas por forte adsorção ao solo ( $K_{oc} = 1000 \text{ mL g}^{-1}$ ), baixa solubilidade em água ( $2,2 \text{ mg L}^{-1}$ ) e Log Kow de 2,8, indicando moderada lipofilicidade. Essas características reduzem sua mobilidade no perfil do solo e favorecem sua permanência na camada superficial, onde se concentra o banco de sementes das plantas daninhas (Barroso; Murata, 2021).

Resultados semelhantes foram observados por Lima *et al.* (2024), que avaliaram o comportamento do indaziflam em diferentes condições de cobertura do solo, incluindo resíduos culturais de 5 t ha<sup>-1</sup> no cultivo de café. Os autores observaram que o produto permaneceu predominantemente na camada superficial do solo (0–5 cm), apresentando baixa mobilidade e baixo potencial de lixiviação, demonstrando que a presença de cobertura vegetal não comprometeu a dinâmica do herbicida. Esses resultados indicam que coberturas vegetais podem ser compatíveis com o uso de herbicidas residuais sem comprometer o desempenho no controle de plantas daninhas.

Em relação à comunidade infestante, os tratamentos com indaziflam, independentemente do manejo de roçagem, apresentaram menor associação com a densidade das espécies presentes na área, reforçando a elevada eficácia e estabilidade do herbicida no controle das plantas daninhas.

Quanto ao oxyfluorfen, seu comportamento foi o mais influenciado pela presença de *mulch* entre os herbicidas avaliados. Esse resultado está relacionado às suas características físico-químicas, como elevada adsorção ( $K_{oc} = 100000 \text{ mL g}^{-1}$ ), baixa solubilidade em água ( $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ ) e elevado coeficiente de partição octanol-água ( $\text{Log } K_{ow} = 4,86$ ), que indica forte caráter lipofílico. Essas propriedades favorecem a retenção do herbicida no *mulch*, reduzindo sua transposição para a solução do solo (Locke; Bryson, 1997; Araldi *et al.*, 2015).

No presente estudo, a interferência do *mulch* foi observada em diferentes épocas experimentais, independente da condição climática. No verão do primeiro ano agrícola, houve diferença entre os manejos de roçagem apenas para o oxyfluorfen, indicando redução da eficácia quando aplicado sobre *mulch*. Esse comportamento também foi observado na primavera e no verão do segundo ano agrícola, quando o manejo com roçagem ecológica apresentou maior densidade de plantas daninhas em comparação ao manejo convencional.

A comunidade infestante corrobora esses resultados, pois, embora o oxyfluorfen seja recomendado em bula para o controle de nabiça, o tratamento apresentou associação com essa espécie no sistema de roçagem ecológica. Essa associação indica possível redução da eficácia do herbicida nessa condição, sugerindo que a retenção do produto pelo *mulch* diminuiu sua disponibilidade na solução do solo.

## **7.2. Efeito dos herbicidas nas plantas de citros**

O menor incremento no diâmetro do tronco observado nas testemunhas no experimento conduzido na primavera do primeiro ano agrícola indica que a presença de plantas daninhas pode ter limitado o crescimento inicial das plantas de citros. A interferência das plantas daninhas ocorre principalmente por competição por recursos essenciais ao desenvolvimento das plantas cultivadas, como água, nutrientes e luz, o que pode interferir no desenvolvimento das plantas jovens (Carvalho; Lucena; Xavier, 2017).

Nesse contexto, o maior incremento observado no tratamento com indaziflam sugere que o controle eficaz das plantas daninhas proporcionou condições mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas de citros, reduzindo a competição durante o período inicial de crescimento. A interferência das plantas daninhas pode ser significativa especialmente em pomares jovens, uma vez que as plantas ainda apresentam sistema radicular em desenvolvimento e menor capacidade competitiva (Zimdahl, 2018).

Por outro lado, no experimento conduzido no verão do primeiro ano agrícola, não foram observadas diferenças, esse resultado pode estar associado à menor infestação natural da área nesse período, reduzindo a intensidade de competição entre plantas daninhas e citros e, consequentemente, o impacto sobre o desenvolvimento das plantas de citros.

### **7.3. Considerações finais**

De modo geral, herbicidas com menor lipofilicidade e adsorção à matéria orgânica, associados à maior solubilidade em água, como o sulfentrazone e o indaziflam, apresentaram menor influência da presença de *mulch*, mantendo desempenho semelhante entre os manejos de roçagem na maioria das épocas experimentais. Por outro lado, o oxyfluorfen foi o herbicida mais influenciado pela presença de *mulch*, apresentando redução de eficácia no manejo com roçagem ecológica, provavelmente em função de sua maior lipofilicidade, maior adsorção à matéria orgânica e menor solubilidade, favorecendo sua retenção nos resíduos vegetais.

Além disso, a presença de *mulch* também influenciou a composição da comunidade infestante. Espécies como nabiça e apaga-fogo apresentaram maior associação com o manejo de roçagem ecológica, possivelmente favorecidas pelas condições de cobertura vegetal e sombreamento proporcionadas pelo *mulch* (Martinelli *et al.*, 2022). Por outro lado, a grama-seda apresentaram maior associação com o manejo convencional, caracterizado por menor cobertura do solo (Recasens *et al.*, 2023). Esses resultados indicam que a interação entre o

*mulch* e o uso de herbicidas residuais pode influenciar não apenas a densidade, mas também a comunidade de plantas daninhas.

## 8. CONCLUSÃO

Nas condições deste estudo, confirma-se a hipótese de que o *mulch* proveniente de *Urochloa ruziziensis* influencia a eficácia de herbicidas pré-emergentes residuais no manejo de plantas daninhas em pomares de citros, em função da interação entre a palha e as propriedades físico-químicas dos herbicidas.

O sulfentrazone e indaziflam apresentaram menor influência da presença de *mulch*, com o sulfentrazone apresentando menor desempenho geral, enquanto o oxyfluorfen demonstrou maior sensibilidade, com redução de eficácia no manejo com roçagem ecológica.

Assim, a associação entre roçagem ecológica e herbicidas residuais pode ser uma estratégia viável para o manejo de plantas daninhas em pomares de citros, desde que consideradas as características físico-químicas dos herbicidas utilizados.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUZIENA, H. F.; HAGGAG, W. M. Weed control in clean agriculture: a review1. **Planta Daninha**, v. 34, n. 2, p. 377–392, 2016.

AGBAOGUN, Babatunde Kazeem; FISCHER, Klaus. Adsorption of phenylurea herbicides by tropical soils. **Environmental monitoring and assessment**, v. 192, n. 4, p. 212, 2020.

AGROFIT. Sistema de agrotóxicos fitossanitários. **MAPA**. 2026.

AGROSTAT. estatísticas de comércio exterior do agronegócio brasileiro. **MAPA**. 2024.

ARALDI, Rosilaine et al. Performance of herbicides in sugarcane straw. **Ciência Rural**, v. 45, n. 12, p. 2106-2112, 2015.

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, 2020.

ARAÚJO, F. C. *et al.* Cultivo de plantas de cobertura na produção de biomassa de plantas daninhas. **XI Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**, Balneário Camboriú, 2019.

Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1111824/1/CNPAF2019cbaiasn2.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2026.

ASLAM, Sohaib et al. *Mulch* of plant residues at the soil surface impact the leaching and persistence of pesticides: A modelling study from soil columns. **Journal of contaminant hydrology**, v. 214, p. 54-64, 2018.

ASSIS, R. L. *et al.* Produção e decomposição de biomassa de plantas de cobertura cultivadas na primavera. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 31, n. 4, p. 328-333, out.-nov., 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2016v31n4p328-333>. Acesso em: 27 jan. 2026.

AZEVEDO, F. A. *et al.* Influência do manejo da entrelinha do pomar na produtividade da laranja-‘pera’. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 34, n. 1, p. 134-142, Março 2012.

AZEVEDO, F. A. *et al.* Manejo da cobertura do solo na citricultura brasileira. **Citrus Research & Technology**, Cordeirópolis, v.35, n.2, p.85-95, 2014. DOI: 10.5935/2236-3122.20140008. Acesso em: 28 jan. 2026.

BACCHI, D. V.; SOUZA, J. L.; FAVARATO, L. F.; OLIVEIRA, J. M. S.; ANGELETTI, M. P. Coleção de plantas de cobertura para uso no sistema plantio direto na palha e no aumento da biodiversidade de agrossistemas. **Ciência, Luz e Tecnologias** - XIX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XV Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e V Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba, 2015. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/2634/1/BRT-colecaodeplantasdecoberturaparausonosistemaplantio-angeletti.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2026.

BAPTISTELLA, J. L. C. *et al.* *Urochloa* in tropical agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, 2020.

BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. (Orgs.). **Matologia**: estudos sobre plantas daninhas. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021, 547p.

BENECH-ARNOLD, Roberto L. et al. Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. **Field crops research**, v. 67, n. 2, p. 105-122, 2000.

BENTO, G. P.; BASTIANI, M. L. R. Plantas de Cobertura do Solo na Inserção de Fitomassa e Supressão de Plantas Espontâneas em Sistema de Manejo Agroecológico. **Cadernos de Agroecologia**, São Cristóvão- SE, v. 15, n. 2, 2020. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/4685/4281>. Acesso em: 27 jan. 2026.

BETTIOL, J. V. T. et al. Plantas de cobertura, utilizando *Urochloa ruziziensis* solteira e em consórcio com leguminosas e seus efeitos sobre a produtividade de sementes do feijoeiro. **UNICIÊNCIAS**, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 3-10, 2015. Disponível em: <https://uniciencias.pgsscogna.com.br/uniciencias/article/view/3148/2903>. Acesso em: 27 jan. 2026.

BHATTI, K. H et al. A critical review on herbicide resistance in plants. **World Applied Sciences Journal**, Dubai, v. 27, n. 8, p. 1027–1036, 2013.

BLANCO, H. G.; OLIVEIRA, D. A. Estudos dos efeitos da época de controle do mato sobre a produção de citrus e a decomposição da flora daninha. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 45, p. 25–36, 1978.

CARBONARI, Caio A. et al. Dynamics of Sulfentrazone Applied to Sugarcane CropResidues. **Weed Science**, v. 64, n. 1, p. 201-206, 2016.

CARDEAL, Zenilda L et al. **Analytical methods for performing pesticide degradation studies in environmental samples**. INTECH Open Access Publisher, 2011.

CARVALHO, J. E. B.; LUCENA, C. C.; XAVIER, F. A. S. **Manejo de coberturas vegetais em pomares de citros nos tabuleiros costeiros**. 1. ed. Embrapa, Cruz das Almas, BA. 2017.

CARVALHO, M. L. et al. **Guia prático de plantas de cobertura: aspectos filotécnicos e impactos sobre a saúde do solo**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2022.

CASALI, A. et al. Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo. *In*: TIECHER, T. (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre: UFRGS, 2016. p. 23-33. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/149123/001005239.pdf?se#page=7>. Acesso em: 27 jan. 2026.

CHAUHAN, Bhagirath S.; JOHNSON, David E. The role of seed ecology in improving weed management strategies in the tropics. **Advances in agronomy**, v. 105, p. 221-262, 2010.

CITRUSBR. **Geração de empregos na citricultura cresce 8% em 2023**. Fev. 2024. Disponível em: <https://citrusbr.com/noticias/geracao-de-empregos-na-citricultura-cresce-8-em-2023/>. Acesso em: 03 mar. 2026.

CORREIA, N. M. Manejo de plantas daninhas na cultura do citrus. *In*: Patricia Andrea Monquero (Ed.). **Manejo de plantas daninhas nas culturas agrícolas**. Rima, 2014.

DA SILVA, Paulo Vinicius et al. Weed control in different germination fluxes with preemergent herbicides on sugarcane straw under dry periods. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo**, v. 56, n. 1, p. 74-82, 2024.

DE MATOS, Ana Karollyna Alves et al. Dynamics of preemergent herbicides in production systems with straw1. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 1, p. 97-106, 2016.

DE MATOS, Ana Karollyna Alves et al. Dynamics of preemergent herbicides in production systems with straw1. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 1, p. 97-106, 2016.

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, 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Citros**. Cruz das Almas, 2026. Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/citros>. Acesso em: 03 mar. 2026.

ENSINAS, S. C. **Culturas de cobertura isoladas e/ou consorciadas na produção de massa seca, produtividade de milho e soja, atributos químicos e matéria orgânica do solo**. 2015. 98f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2015.

EUROPEAN COMMISSION. **Citrus fruit statistics**. Brussels, 2026. Disponível em: [https://agriculture.ec.europa.eu/data-and-analysis/markets/overviews/market-observatories/fruit-and-vegetables/citrus-fruit-statistics\\_en](https://agriculture.ec.europa.eu/data-and-analysis/markets/overviews/market-observatories/fruit-and-vegetables/citrus-fruit-statistics_en). Acesso em: 03 mar. 2026.

EUROPEAN COMMISSION. **Dashboard: citrus fruit**. (Version 1.2). CIRCABC, 2026. Disponível em: <https://circabc.europa.eu/ui/group/a6df5bd5-efdf-40cc-a42d-8292eedd0201/library/02d645fa-98f5-409d-8f3b-fe172a6f0cfc/details>. Acesso em: 28 jan. 2026.

EUROPEAN COMMISSION. **Dashboard: orange and other citrus fruits**. 2025. Disponível em: <https://circabc.europa.eu/ui/group/a6df5bd5-efdf-40cc-a42d-8292eedd0201/library/44515718-3632-47e0-8280-4a7409755a5e/details?open=true>. Acesso em: 28 jan. 2026.

EUROPEAN COMMISSION. **Dashboard: orange and other citrus fruits: seasons 2025/2026**. 2026. Disponível em: <https://circabc.europa.eu/ui/group/a6df5bd5-efdf-40cc-a42d-8292eedd0201/library/02d645fa-98f5-409d-8f3b-fe172a6f0cfc/details?open=true>. Acesso em: 28 jan. 2026.

FARIDY, Nastaran et al. Efficacy of novel bacterial consortia in degrading fipronil and thiobencarb in paddy soil: a survey for community structure and metabolic pathways. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, p. 1366951, 2024.

FAVERIN, V. **Geração de empregos na citricultura cresce 32% no 1º semestre da safra 25/26**. Canal Rural, fev. 2026. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agricultura/geracao-de-empregos-na-citricultura-cresce-32-no-1o-semester-da-safra-25-26/>. Acesso em: 03 mar. 2026.

FENOLL, José et al. Photocatalytic degradation of five sulfonylurea herbicides in aqueous semiconductor suspensions under natural sunlight. **Chemosphere**, v. 87, n. 8, p. 954-961, 2012.

FERNANDO, M.; SHRESTHA, A. The potential of cover crops for weed management: a sole tool or component of an integrated weed management system?. **Plants**, Basel., v. 12, n. 4, 2023. DOI:10.3390/plants12040752. Acesso em: 27 jan. 2026.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Citrus Fruit Statistical Compendium 2020**. Rome, 2021. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/4760a5b5-f3b2-41c7-8713-ccdb1a5f8c08/content>. Acesso em: 28 jan. 2026.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Citrus Fruit Statistical 2015**. Rome, 2016. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/0841d13a-26de-4111-aa3a-fb34e296828a/content>. Acesso em: 28 jan. 2026.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **FAOSTAT – Trade Data**. Rome, 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/TM>. Acesso em: 03 mar. 2026.

GEHRKE, V. R. et al. Sulfentrazone: environmental dynamics and selectivity. **Planta daninha**, v. 38, p. e020215663, 2020.

GÓRSKI, T., Górska, K. e Stasiak, H. Inhibition of seed germination by far red radiation transmitted through leaf canopies. **Polish Journal of Agronomy**, 13, 10-38, 2013.

HARTWIG, N. L.; AMMON, H. U. Cover crops and living *mulches*. **Weed Science**, v. 50, n. 6, p. 688–699, 2002.

HOROWITZ, Menashe. Spatial growth of *Cynodon dactylon* (L.) Pers. **Weed Research**, v. 12, n. 4, p. 373-383, 1972.

HUMANN-GUILLEMINOT et al. Off target: herbicides applied in cereal fields exclude non-competitive species, while replacing them by competitive weeds. **bioRxiv**, p. 2025.05.21.654858, 2025.

JABRAN, K. *et al.* Allelopathy for weed control in agricultural systems. **Crop Protection**, v. 72, p. 57–65, 2015.

JING, X. *et al.* Effects of accumulated straw residues on sorption of pesticides and antibiotics in soils with maize straw return. **Journal of Hazardous Materials**, v. 418, p. 126213, 2021.

KHALIL, Y. *et al.* Rainfall affects leaching of pre-emergent herbicide from wheat residue into the soil. **PLOS ONE**, v. 14, n. 2, p. e0210219, 2019.

KHALIL, Yaseen et al. Effect of crop residues on interception and activity of prosulfocarb, pyroxasulfone, and trifluralin. **Plos one**, v. 13, n. 12, p. e0208274, 2018.

LABRADA, R (ED.). Weed management for developing countries. Roma: FAO, 2003.

LIMA FILHO, F. L. *et al.* (Eds.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. 2. ed. rev. atual. Brasília, DF: Embrapa, 2023.

LIMA, Alessandro C. et al. Field dissipation and leaching potential of indaziflam in soil columns from coffee-cultivated areas with different soil cover materials. **Advances in Weed Science**, v. 42, p. e020240025, 2024.

- LIMA, S. F.; TIMOSSI, P. C. ASSUNÇÃO, H. F. Análise comparativa de técnicas de estimativa de fração de cobertura vegetal por *Urochloa ruziziensis* e *Urochloa* spp. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 33, n. 3, p. 483-490, 2015. DOI: 10.1590/S0100-83582015000300010. Acesso em: 27 jan. 2026.
- LOCKE, Martin A.; BRYSON, Charles T. Herbicide-soil interactions in reduced tillage and plant residue management systems. **Weed Science**, v. 45, n. 2, p. 307-320, 1997.
- MAIA, Lucas OR et al. Influence of cover crop use on soil microbial activity and fate of sulfentrazone, S-metolachlor, cloransulam-methyl, atrazine, and mesotrione. **Weed Science**, v. 73, n. 1, p. e42, 2025.
- MARÍN-BENITO, Jesús M. et al. Previous degradation study of two herbicides to simulate their fate in a sandy loam soil: effect of the temperature and the organic amendments. **Science of the Total Environment**, v. 653, p. 1301-1310, 2019.
- MARTINELLI, R et al. Ecological mowing: an option for sustainable weed management in young citrus orchards. **Weed Technology**, v. 31, p. 260-268, 2017.
- MARTINELLI, R. *et al.* The impacts of ecological mowing combined with conventional mechanical or herbicide management on weeds in orange orchards. **Weed Research**, v. 62, n. 6, p. 431–445, 2022.
- MATHEIS, H. A. S. M.; RICARDO FILHO, V. Cover crops and natural vegetation *mulch* effect achieved by mechanical management with lateral rotary mower in weed population dynamics in citrus. **Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 40, n. 1, p. 185–190, 2005.
- MAURO, Rosario Paolo et al. Cover crops for managing weeds, soil chemical fertility and nutritional status of organically grown orange orchard in Sicily. **Italian Journal of Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 641, 2015.
- MENDES, Kassio Ferreira et al. Retention, absorption, translocation, and metabolism of herbicides in plants. In: **Applied weed and herbicide science**. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 157-186.
- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. Aims and methods of vegetation ecology. New York: **John Wiley & Sons**, 1974.
- 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, 2023.
- NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES. Weed Control. Washington, DC: **National Academies Press**, 1968. p. 148–168.
- OLIVEIRA, L. E. **Plantas de cobertura: características, benefícios e utilização**. 2014, 62p. Monografia (Curso de Engenharia Agrônômica), Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- PARAJULI, D. *et al.* Effect of weed management practices on citrus growth and cost of production at young mandarin orchard in Palpa, Nepal. **International Journal of Fruit Science**, v. 25, n. 1, p. 43-55, 2025. DOI: 10.1080/15538362.2025.2457978.
- PASSOS, Ana Beatriz RJ et al. Leaching of sulfentrazone in soils of reforestation in Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 2, p. 1211-1215, 2015.

PENG, Y. *et al.* Global synthesis of cover crop impacts on main crop yield. **Field Crops Research**, [S. l.], v. 310, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109343>. Acesso em: 27 jan. 2026.

PENG, Y. *et al.* Global synthesis of cover crop impacts on main crop yield. **Field Crops Research**, [S. l.], v. 310, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109343>. Acesso em: 27 jan. 2026.

PEREIRA, A. P. *et al.* Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 40, n. 4, p. 799-807, 2017. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16523/13464>. Acesso em: 27 jan. 2026.

PEREIRA, N. S. *et al.* Propisochlor retention and mobility in the presence of straw in Brazilian cropping systems. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 69, n. 9, p. 1629–1644, 2023.

R CORE TEAM. A language and environment for statistical computing. Vienna: **R Foundation for Statistical Computing**, 2024.

REAL, L. V. V. *et al.* Integrated methods for weed control in the ‘Natal’ orange tree. **Científica**, v. 49, n. 3, p. 128-136, 2021. DOI: 10.15361/1984-5529.2021v49n3p128-136.

RECASENS, Jordi *et al.* Dynamics of *Cynodon dactylon* and weed community composition in different cover crops in a vineyard. **Weed Research**, v. 63, n. 4, p. 261-269, 2023.

REDIN, M. *et al.* Plantas de cobertura de solo e agricultura sustentável: espécies, matéria seca e ciclagem de carbono e nitrogênio. *In*: TIECHER, T. (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre: UFRGS, 2016.

SANCHES, A. C. Conservação do solo em pomares cítricos. Em Seminário internacional de citros, 5. Campinas. Anais. Campinas: **Fundação Cargill**, p.167-187, 1998.

SANTOS, I, T. *et al.* Evaluation of a System to Assess Herbicide Movement in Straw under Dry and Wet Conditions. **AgriEngineering**, v. 6, n. 1, p. 858-868, 2024.

SAVANACHI, E. **Geração de empregos na citricultura cresceu 8% em 2023**. Revista Cultivar, Notícias – Agricultura, fev. 2024. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/geracao-de-empregos-na-citricultura-cresceu-8-em-2023#:~:text=Segundo%20dados%20do%20Cadastro%20Geral,%2C%20diretor%2Dexecutivo%20da%20CitrusBR..> Acesso em: 03 mar. 2026.

SILVA JUNIOR, AC da *et al.* Leaching of sulfentrazone herbicide in soils with different textures. 2016.

SILVA, M. A. *et al.* Culturas de cobertura isoladas e mistas para melhorar a qualidade do solo e as culturas comerciais no Cerrado. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 10, n. 12, p. e11101220008, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i12.20008 . Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/20008> . Acesso em: 28 jan. 2026.

SILVEIRA, L. **Manejos de plantas de cobertura e implicações nas propriedades físicas do solo, ciclagem de nutrientes e produtividade de milho silagem**. 2021. 97f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2021.

- SOARES, M. B. B. *et al.* Weed management in the dry season: interferences in physiology and quality of Persian lime fruits. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, e67779, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632021v5167779>
- SOMASUNDARAM, L. *et al.* Mobility of pesticides and their hydrolysis metabolites in soil. **Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal**, v. 10, n. 2, p. 185-194, 1991.
- TAKESHITA, V. *et al.* Effect of organic matter on the behavior and control effectiveness of herbicides in soil. **Planta Daninha**, v. 37, 2019.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Citrus Annual – Brazil**. Brasília, 2024. Disponível em: [https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Citrus+Annual\\_Brasilia\\_Brazil\\_BR2024-0043](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Citrus+Annual_Brasilia_Brazil_BR2024-0043). Acesso em: 03 mar. 2026.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Citrus Annual – Brazil**. Brasília, 2024. Disponível em: [https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Citrus+Annual\\_Brasilia\\_Brazil\\_BR2024-0043](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Citrus+Annual_Brasilia_Brazil_BR2024-0043). Acesso em: 03 mar. 2026.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Citrus Annual – European Union**. Madrid, 2025. Disponível em: [https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Citrus+Annual\\_Madrid\\_European+Union\\_E42025-0032.pdf](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Citrus+Annual_Madrid_European+Union_E42025-0032.pdf). Acesso em: 03 mar. 2026.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Citrus Fruits 2024 Summary**: August 2024. USDA, National Agricultural Statistics Service, 2024. Disponível em: <https://esmis.nal.usda.gov/sites/default/release-files/j9602060k/jd474n193/7m01dc58c/cfirt0824.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2026.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Citrus: World Markets and Trade**. Washington, 2026. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/citrus.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2026.
- VIDAL, M. F. Citricultura (laranja). **Caderno Setorial ETENE**, Fortaleza, v. 9, n. 343, 2024. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/view/2621>. Acesso em: 29 jan. 2026.
- VILLELA, A. L. G.; MARTINELLI, R.; ZENATTI, T. F.; RUFINO-JR., L.; MONQUERO, P. A.; CONCEIÇÃO, P. M.; AZEVEDO, F. A. de. Potential of two cover crops, signal grass and ruzi grass: suggested allelopathic effect on some important weeds. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 2, p. 260-270, 2021.
- WOLSCHICK, N. H. *et al.* Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 15, n. 2, p. 134-143, 2016. DOI: 10.5965/223811711522016134. Acesso em: 27 jan. 2026.
- ZACCHEO, P. V. C. **Plantas de cobertura em pomar cítrico**. 2015. 83f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.
- ZIMDAHL, R. L. Fundamentals of weed science. 5. ed. London: **Academic Press**, p. 758,. 2018.

## ANEXO A

Tabelas com as médias detalhadas da densidade de plantas daninhas utilizadas na construção dos gráficos apresentados nos resultados.

Tabela A1. Densidade média de plantas daninhas (plantas m<sup>-2</sup>) na primavera do ano agrícola I, entre 15 e 180 DAA, para os diferentes tratamentos herbicidas e manejos de roçagem.

Tratamento	Densidade de plantas daninhas (plantas m <sup>-2</sup> )			
	15 DAA			
	CONV		Roçagem	
			ECO	
1: testemunha	60,18	Aa	48,85	Aa
2: sulfentrazone	2,72	Aa	1,36	Aa
3: indaziflam	0,52	Aa	0,00	Aa
4: oxyfluorfen	0,52	Aa	0,18	Aa
30 DAA				
Roçagem				
	CONV		ECO	
1: testemunha	64,47	Aa	49,29	Aa
2: sulfentrazone	5,95	Aa	1,46	Aa
3: indaziflam	0,79	Aa	0,00	Aa
4: oxyfluorfen	0,62	Aa	0,18	Aa
60 DAA				
Roçagem				
	CONV		ECO	
1: testemunha	78,72	Aa	68,25	Aa
2: sulfentrazone	7,99	Aa	5,69	Aa
3: indaziflam	2,89	Aa	0,82	Aa
4: oxyfluorfen	4,99	Aa	2,82	Aa
90 DAA				
Roçagem				
	CONV		ECO	
1: testemunha	94,10	Aa	70,46	Aa
2: sulfentrazone	11,97	Aa	11,09	Aa
3: indaziflam	4,13	Aa	1,11	Aa
4: oxyfluorfen	7,92	Aa	7,38	Aa
120 DAA				
Roçagem				
	CONV		ECO	
1: testemunha	121,38	Aa	103,66	Aa
2: sulfentrazone	22,86	Aab	12,07	Ab
3: indaziflam	5,21	Ab	1,99	Ab
4: oxyfluorfen	15,39	Aab	12,28	Ab
150 DAA				
Roçagem				
	CONV		ECO	
1: testemunha	127,22	Aa	109,96	Aa
2: sulfentrazone	24,15	Aab	13,53	Ab
3: indaziflam	5,84	Ab	2,36	Ab
4: oxyfluorfen	17,03	Aab	12,32	Ab
180 DAA				
Roçagem				
	CONV		ECO	
1: testemunha	138,22	Aa	124,20	Aa
2: sulfentrazone	24,08	Ab	19,66	Ab
3: indaziflam	7,11	Ab	2,84	Ab
4: oxyfluorfen	19,20	Ab	14,16	Ab

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna (roçagens) e maiúscula na linha (tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas separadamente para cada data avaliada.

Tabela A2. Densidade média de plantas daninhas (plantas m<sup>-2</sup>) no verão do ano agrícola I, entre 15 e 180 DAA, para os diferentes tratamentos herbicidas e manejos de roçagem.

Tratamento	Densidade de plantas daninhas (plantas m <sup>-2</sup> )				
	15 DAA				
	CONV		Roçagem		
				ECO	
1: testemunha	3,58	Aa		2,41	Aa
2: sulfentrazone	1,00	Aa		1,83	Aa
3: indaziflam	3,77	Aa		1,36	Aa
4: oxyfluorfen	1,46	Aa		1,92	Aa
	30 DAA				
	CONV		Roçagem		
				ECO	
1: testemunha	5,02	Aa		5,17	Aa
2: sulfentrazone	2,51	Aa		1,79	Aa
3: indaziflam	3,82	Aa		2,96	Aa
4: oxyfluorfen	1,58	Aa		3,88	Aa
	60 DAA				
	CONV		Roçagem		
				ECO	
1: testemunha	7,47	Aa		9,86	Aa
2: sulfentrazone	5,83	Aa		5,02	Aa
3: indaziflam	5,28	Aa		3,99	Aa
4: oxyfluorfen	2,16	Aa		7,72	Aa
	90 DAA				
	CONV		Roçagem		
				ECO	
1: testemunha	10,85	Aa		12,87	Aa
2: sulfentrazone	6,35	Aa		7,05	Aa
3: indaziflam	5,58	Aa		3,84	Aa
4: oxyfluorfen	2,35	Ba		11,42	Aa
	120 DAA				
	CONV		Roçagem		
				ECO	
1: testemunha	13,18	Aa		17,87	Aa
2: sulfentrazone	9,79	Aab		9,69	Aab
3: indaziflam	6,58	Aa		4,19	Ab
4: oxyfluorfen	2,54	Ba		13,81	Aab
	150 DAA				
	CONV		Roçagem		
				ECO	
1: testemunha	14,80	Aa		22,27	Aa
2: sulfentrazone	9,94	Aab		11,15	Ab
3: indaziflam	6,62	Aab		4,52	Ab
4: oxyfluorfen	2,69	Bb		14,84	Aab
	180 DAA				
	CONV		Roçagem		
				ECO	
1: testemunha	14,80	Aa		22,27	Aa
2: sulfentrazone	9,94	Aab		11,15	Ab
3: indaziflam	6,62	Aab		4,52	Ab
4: oxyfluorfen	2,69	Bb		14,84	Aab

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna (roçagens) e maiúscula na linha (tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas separadamente para cada data avaliada.

Tabela A3. Densidade média de plantas daninhas (plantas m<sup>-2</sup>) na primavera do ano agrícola II, entre 15 e 180 DAA, para os diferentes tratamentos herbicidas e manejos de roçagem.

Tratamento	Densidade de plantas daninhas (plantas m <sup>-2</sup> )			
	15 DAA			
	CONV		Roçagem	
				ECO
1: testemunha	20,72	Aa	23,42	Aa
2: sulfentrazone	9,27	Aab	10,8	Aab
3: indaziflam	0,11	Ab	0,42	Ab
4: oxyfluorfen	1,2	Ab	8,5	Ab
30 DAA				
	CONV		Roçagem	
				ECO
1: testemunha	36	Aa	31,2	Aa
2: sulfentrazone	12,23	Ab	15,41	Ab
3: indaziflam	0,81	Ab	0,84	Ac
4: oxyfluorfen	1,97	Ab	11,77	Abc
60 DAA				
	CONV		Roçagem	
				ECO
1: testemunha	109,02	Aa	110,98	Aa
2: sulfentrazone	20,73	Bb	39,7	Ab
3: indaziflam	1,54	Ac	1,33	Ac
4: oxyfluorfen	5,11	Bc	30,37	Ab
90 DAA				
	CONV		Roçagem	
				ECO
1: testemunha	137,89	Aa	151,8	Aa
2: sulfentrazone	36,69	Bb	63,86	Ab
3: indaziflam	2,77	Ac	1,73	Ad
4: oxyfluorfen	9,97	Bc	35,83	Ac
120 DAA				
	CONV		Roçagem	
				ECO
1: testemunha	137,89	Aa	151,8	Aa
2: sulfentrazone	36,69	Bb	63,86	Ab
3: indaziflam	2,77	Ac	1,73	Ad
4: oxyfluorfen	9,97	Bc	35,83	Ac
150 DAA				
	CONV		Roçagem	
				ECO
1: testemunha	151,42	Aa	157,62	Aa
2: sulfentrazone	50,03	Bb	68,47	Ab
3: indaziflam	8,95	Ac	4,27	Ad
4: oxyfluorfen	19,84	Bc	47,77	Ac
180 DAA				
	CONV		Roçagem	
				ECO
1: testemunha	151,42	Aa	157,62	Aa
2: sulfentrazone	50,03	Bb	68,47	Ab
3: indaziflam	8,95	Ac	4,27	Ad
4: oxyfluorfen	19,84	Bc	47,77	Ac

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna (roçagens) e maiúscula na linha (tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas separadamente para cada data avaliada.

Tabela A4. Densidade média de plantas daninhas (plantas m<sup>-2</sup>) no verão do ano agrícola II, entre 15 e 120 DAA, para os diferentes tratamentos herbicidas e manejos de roçagem.

Tratamento	Densidade de plantas daninhas (plantas m <sup>-2</sup> )			
	15 DAA			
	Roçagem		ECO	
	CONV			
1: testemunha	4,09	Aa	5,94	Aa
2: sulfentrazone	0,36	Aa	4,2	Aa
3: indaziflam	0	Aa	0,38	Aa
4: oxyfluorfen	0	Aa	3,48	Aa
30 DAA				
	Roçagem		ECO	
	CONV			
1: testemunha	15,16	Ba	21,95	Aa
2: sulfentrazone	7,11	Ab	9,76	Ab
3: indaziflam	1,23	Ac	0,38	Ac
4: oxyfluorfen	0,87	Bc	12,2	Ab
60 DAA				
	Roçagem		ECO	
	CONV			
1: testemunha	24,578	Aa	21,984	Aa
2: sulfentrazone	15,781	Aab	17,422	Aa
3: indaziflam	7,2188	Ab	0,5108	Ab
4: oxyfluorfen	2,833	Bb	19,509	Aa
90 DAA				
	Roçagem		ECO	
	CONV			
1: testemunha	35,234	Aa	26,438	Aa
2: sulfentrazone	23,406	Aab	23,138	Aa
3: indaziflam	12,969	Abc	1,0525	Ab
4: oxyfluorfen	6,3122	Bc	24,405	Aa
120 DAA				
	Roçagem		ECO	
	CONV			
1: testemunha	41,719	Aa	31,938	Aa
2: sulfentrazone	27,891	Aab	25,328	Aa
3: indaziflam	12,969	Abc	1,9275	Ab
4: oxyfluorfen	9,1663	Bc	31,156	Aa

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna (roçagens) e maiúscula na linha (tratamentos) não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas separadamente para cada data avaliada.