



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ UENP -
CAMPUS LUIZ MENEGHEL CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

MESTRADO EM AGRONOMIA

NATÃNY APARECIDA PADUAN

**EVAPORAÇÃO E ESPALHAMENTO DE HERBICIDAS SOB
SUPERFÍCIES DE PLANTAS DANINHAS DE FOLHAS
ESTREITAS**

BANDEIRANTES-PR

ABRIL/2023

NATÃNY APARECIDA PADUAN

**EVAPORAÇÃO E ESPALHAMENTO DE HERBICIDAS SOB
SUPERFÍCIES DE PLANTAS DANINHAS DE FOLHAS
ESTREITAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
graduação – Mestrado em Agronomia -
Universidade Estadual do Norte do Paraná –
Campus Luiz Meneghel.

Orientador: Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira.

BANDEIRANTES-PR

ABRIL/2023

NATÃNY APARECIDA PADUAN

**EVAPORAÇÃO E ESPALHAMENTO DE HERBICIDAS SOB
SUPERFÍCIES DE PLANTAS DANINHAS DE FOLHAS
ESTREITAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
graduação – Mestrado em Agronomia -
Universidade Estadual do Norte do Paraná –
Campus Luiz Meneghel.

Orientador: Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira.

Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira

Prof. Dr. Marco Antonio Gandolfo

Prof. Dr. Gustavo Dario

Dr. Rodolfo Glauber Chechetto

Bandeirantes, 28 de abril de 2023.

Ficha catalográfica elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UENP

Pe Paduan , Natãny
EVAPORAÇÃO E ESPALHAMENTO DE HERBICIDAS SOB
SUPERFÍCIES DE PLANTAS DANINHAS DE FOLHAS ESTREITAS
/ Natãny Paduan ; orientador Rone Batista de
Oliveira - Bandeirantes, 2023.
54 p. :il.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Agronomia) -
Universidade Estadual do Norte do Paraná, Centro de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, 2023.

1. . I. Batista de Oliveira, Rone , orient. II.
Titulo.

Em memória ao meu pai, Waldemir Paduan.

AGRADECIMENTOS

Com o coração repleto de gratidão, quero expressar meus sinceros agradecimentos a todos que estiveram presentes em minha jornada.

Em primeiro lugar, quero agradecer a Deus por me guiar, iluminar meus caminhos e me dar forças para superar todos os obstáculos. À Nossa Senhora Aparecida, agradeço por sua intercessão e por sempre me proteger.

Gostaria de expressar minha gratidão ao meu pai, que infelizmente não está mais conosco, mas que eu sei que estava presente em espírito. Ele sempre me apoiou em todas as minhas decisões e, tenho certeza, teria ficado orgulhoso de ver esta conquista. A minha mãe, que sempre esteve ao meu lado e me apoiou incansavelmente, meu irmão, por sua amizade, incentivo e companheirismo.

Quero agradecer também ao meu namorado, que esteve presente em todos os momentos me ouvindo e me encorajando quando eu precisava de um empurrãozinho. E pelas amizades, que sempre me acompanharam nesta jornada, me ajudando a manter o equilíbrio emocional e a encontrar o humor nas situações mais difíceis.

Agradeço à banca avaliadora, por dedicar seu tempo na avaliação do meu trabalho, e por suas sugestões valiosas que contribuíram para aprimorar minha pesquisa.

E, por fim, mas não menos importante, quero agradecer ao meu orientador Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira, pela paciência, sabedoria e orientação durante todo o processo.

Este momento é muito importante e eu não teria chegado até aqui sem o apoio e a dedicação de cada uma de vocês. Mais uma vez, quero expressar meu sincero agradecimento.

PADUAN, Aparecida Natãny. **Evaporação e espalhamento de herbicidas sob superfícies de plantas daninhas de folhas estreitas**. 2023. Dissertação de Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2023.

RESUMO

A eficiência do controle de plantas daninhas pode ser aprimorada com a formulação de herbicidas que permita uma melhor interação entre a gota de pulverização e a planta alvo. É importante que a formulação proporcione equilíbrio entre o espalhamento e tempo de evaporação, permitindo uma distribuição e secagem adequada do herbicida sobre o alvo. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar o tempo de evaporação e a área de espalhamento de caldas de herbicidas em superfícies de plantas daninhas de folhas estreitas. Gotas de 800 μm de diâmetro contendo as misturas de Finale[®] + Assist[®]; Roundup Transorb R[®] + Select One Pack[®] e Roundup Transorb R[®] + Verdict Max[®] + Joint Oil[®] foram depositadas em cinco superfícies de plantas daninhas de folhas estreitas: Capim amargoso (*Digitaria insularis* L. Fedde); Capim carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.); Capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica* L.); Capim-branco (*Chloris polydactyla*) e Capim Brachiaria (*Urochloa brizantha*). Foram analisadas a tensão superficial, pH e condutividade elétrica das caldas de pulverização. Para determinação da área de espalhamento e do tempo de evaporação das gotas foi utilizado um gerador de gotas, um estereoscópio com câmera de alta definição para captura das gotas e software para processamento das imagens e uma câmera climática para manter as condições controladas de temperatura e umidade relativa do ar. Imagens sequenciais foram usadas para quantificar a área de molhamento e o tempo de evaporação das gotas depositadas nas diferentes superfícies foliares. A calda de pulverização e a superfície foliar definem a capacidade de espalhamento e o tempo de evaporação. A espécie com superfície foliar com maior facilidade de espalhamento foi a *Eleusine indica* e menor capacidade de espalhamento foi a *Digitaria insularis*, independentemente das caldas de herbicidas. O entendimento do espalhamento nas superfícies foliares de plantas daninhas de folhas estreitas é fundamental para definição de estratégias que beneficiem o sinergismo das misturas de herbicidas e maximizem a interação com as superfícies foliares.

Palavras-chaves: tecnologia de aplicação, morfologia da folha, deposição, planta daninha.

PADUAN, Aparecida Natány. **Spread and evaporation time of herbicide droplets on surfaces of narrow-leaved weeds.** 2023. Dissertação de Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2023.

ABSTRACT

The efficiency of weed control can be enhanced through the formulation of herbicides that allow for better interaction between the spray droplet and the target plant. It is important that the formulation provides a balance between spreading and evaporation time, enabling proper distribution and drying of the herbicide on the target. The aim of this research was to evaluate the evaporation time and spreading area of herbicide sprays on narrow-leaf weed surfaces. The 800 µm diameter droplets containing the Finale[®] + Assist[®] mixtures; Roundup Transorb R[®] + Select One Pack[®] and Roundup Transorb R[®] + Verdict Max[®] + Joint Oil[®] were deposited on five surfaces of narrow-leaved weeds: Bittergrass (*Digitaria insularis* (L.) Fedde); Butter grass (*Cenchrus echinatus* L.); Goosegrass (*Cleusine indica* (L.)); Fingergrass (*Chloris polydactyla*) and Brachiaria Grass (*Urochloa brizantha*). The surface tension, pH, and electrical conductivity of the spray solutions were analyzed. To determine the spreading area and evaporation time of the droplets, a droplet generator, a high-definition stereoscope with a camera for capturing the droplets, and software for image processing were used. A climate-controlled chamber with controlled temperature and relative humidity was employed, along with sequential images, to quantify the wetting area and evaporation time of the droplets deposited on different leaf surfaces. The spray solution and the leaf surface characteristics determine the spreading capacity and evaporation time. The species with the leaf surface exhibiting higher spreading ability was *Eleusine indica*, while *Digitaria insularis* showed lower spreading capacity, regardless of the herbicide solutions. Understanding the spreading behavior on the leaf surfaces of narrow-leaf weeds is crucial for defining strategies that enhance the synergism of herbicide mixtures and maximize interaction with the leaf surfaces.

Keywords: Leaf morphology, deposition, surface tension, application technology.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Distribuição dos vasos na casa de vegetação.....(29)
- Figura 2** – Espécies de plantas daninhas utilizadas: (a) Capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica* (L.); (b) Capim amargoso (*Digitaria insularis* (L.) Fedde); (c) Capim brachiaria (*Urochloa brizantha*); (d) Capim carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.); (e) Capim-branco (*Chloris polydactyla*).....(30)
- Figura 3** – Sistema experimental de análise da área de molhamento e tempo de evaporação após a deposição gota no alvo (Oliveira et al., 2013).....(31)
- Figura 4** – Gotas depositadas de 800 µm sob teias de aranha para realização da calibração do tamanho de gotas.....(32)
- Figura 5** – Bomba de infusão modelo Samtronic ST7000 com fluxo de 6 mL h⁻¹, utilizada para realização da tensão superficial.....(33)
- Figura 6** – Análise do pH das caldas.....(34)
- Figura 7** – Análise da condutividade elétrica das caldas.....(35)
- Figura 8** – Área máxima de espalhamento (mm²) de gotas de herbicidas depositadas em superfícies de plantas daninhas de folha estreita.....(38)
- Figura 9** – Área máxima de espalhamento (mm²) de gotas de herbicidas depositadas em superfícies de plantas daninhas de folha estreita.....(39)
- Figura 10** – Tempo de evaporação (s) de gotas de herbicidas depositadas em superfícies de plantas daninhas de folha estreita.....(43)

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Produtos, classe funcional, formulação e doses utilizadas no experimento.....(30)
- Tabela 2** – Propriedades físicas e químicas das caldas de pulverização.....(37)

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 12 |
| 2. | REVISÃO DE LITERATURA | 14 |
| 2.1 | Classificação das plantas daninhas | 14 |
| 2.2 | Planta daninha de folha estreita | 14 |
| 2.2.1 | <i>Digitaria insularis</i> (L.) Fedde | 15 |
| 2.2.2 | <i>Cenchrus echinatus</i> L. | 15 |
| 2.2.3 | <i>Urochloa brizantha</i> | 16 |
| 2.2.4 | <i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn (ELEIN) | 16 |
| 2.2.5 | <i>Chloris polydactyla</i> | 17 |
| 2.3 | Dificuldade de controle das plantas daninhas | 17 |
| 2.4 | Herbicidas e formulações | 19 |
| 2.5 | Modo de ação dos herbicidas | 20 |
| 2.5.1 | Inibidor do metabolismo de nitrogênio | 20 |
| 2.5.2 | Inibidor de síntese de aminoácidos aromáticos | 20 |
| 2.5.3 | Inibidor de síntese de lipídio | 21 |
| 2.6 | Mistura em tanque | 21 |
| 2.7 | Propriedades físico-químicas da calda | 23 |
| 2.8 | Adição de adjuvantes na mistura de herbicidas para folhas estreitas..... | 24 |
| 2.9 | Interação dos herbicidas com o alvo | 25 |
| 2.9.1 | Fatores que afetam a capacidade de espalhamento e evaporação das gotas de pulverização no alvo..... | 27 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 29 |
| 3.1 | Caracterização do experimento | 29 |
| 3.2 | Cultivo das Plantas Daninhas..... | 29 |
| 3.3 | Tratamentos..... | 30 |
| 3.4 | Análise de espalhamento e tempo de evaporação | 31 |
| 3.5 | Análises da tensão superficial das caldas | 33 |
| 3.6 | Análises do pH das caldas..... | 34 |
| 3.7 | Análises de condutividade elétrica..... | 34 |
| 3.8 | Análise dos dados..... | 35 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 35 |
| 5 | CONCLUSÃO | 44 |
| 6 | REFERÊNCIAS | 45 |

1. INTRODUÇÃO

Entender o processo de deposição das gotas contendo herbicidas após atingir o alvo, como tempo de evaporação e área máxima de espalhamento, podem ajudar os formuladores no desenvolvimento de produtos que maximizem a absorção foliar (OLIVEIRA et al., 2019). O comportamento da deposição, molhabilidade e adesão das gotas de pulverização na superfície das folhas é fundamental na proteção das plantas, devido à sua eficácia na redução do desperdício de produtos fitossanitário e da poluição ambiental (APPAH et al., 2019).

O controle de plantas daninhas pode ser realizado com produtos sistêmicos ou de contato, aplicados na dessecação, pré e pós-emergência, isolados ou em mistura, e aplicações sequenciais do mesmo ou de diferentes herbicidas (SALVALAGGIO et al., 2018). Para que a ação do herbicida ocorra de maneira eficiente, as gotas precisam se depositar na superfície da planta daninha de forma uniforme. Herbicidas de contato exigem que as gotas se espalhem mais uniformemente na superfície da planta, já que sua ação se dá por contato direto com a folha. Já os herbicidas sistêmicos são absorvidos pelas folhas e transportados até as raízes, portanto, a uniformidade do espalhamento é menos crítica (GRIESANG & DA COSTA FERREIRA, 2021). Portanto, a necessidade de espalhamento e o tempo de evaporação podem ser diferentes em função do tipo de herbicidas ou das espécies de plantas daninhas.

As plantas daninhas de folhas estreitas apresentam uma cutícula que protege os tecidos da planta das intempéries do ambiente (ZHANG et al., 2022). Ela desempenha um papel importante na proteção da estrutura interna da folha e resiste à influência de diferentes condições dos ambientes interno e externos. Os fatores internos incluem a morfologia da planta, principalmente a composição química da cera depositada na superfície da folha, microestruturas físicas, posição da folha e o ciclo de crescimento (CHEN, 2018). Para os fatores externos são as propriedades do líquido, incluindo o tipo e a concentração de adjuvantes, o tipo e a concentração de solventes orgânicos, a viscosidade da solução, o volume da gota e a interferência da temperatura e umidade (ZHANG et al., 2022).

A retenção das gotas de pulverização depositadas nas superfícies foliares de plantas daninhas, é de extrema importância para a eficácia dos herbicidas, e está diretamente relacionada a área de molhamento e tempo de evaporação das gotas, de forma que o controle das plantas daninhas pode ser reduzido se o ingrediente ativo não se espalhar uniformemente sobre o alvo (DAMATO et al., 2016; XU et al., 2010). O estudo dessas interações proporciona o melhor entendimento de diversos processos, um deles é a resistência das plantas daninhas,

que pode ser ocasionada devido à má qualidade da pulverização dos produtos fitossanitários e como consequência a não absorção do ingrediente ativo necessário para controle (BUSI et al., 2018). Portanto, o controle das plantas daninhas ainda tem suas complexidades, e entender esse processo de interação das gotas de herbicidas na superfície foliar, possui grande potencial para responder vários questionamentos e auxiliar nas escolhas adequadas.

O objetivo desta pesquisa foi determinar a área de molhamento e o tempo de evaporação de caldas com herbicidas em superfície de plantas daninhas de folhas estreitas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Classificação das plantas daninhas

O termo planta daninha é usado para se referir a determinadas plantas que se tornam indesejáveis em locais de atividade humana (MENDES & DA SILVA, 2022). Podendo acarretar perdas de até 100% na produtividade, devido a alelopatia e a sua competição por água, nutrientes e luz, além de fatores como a diminuição da qualidade dos grãos, e serem hospedeiros de doenças e pragas (LORENZI, 2014). Caracterizam-se por apresentarem capacidade de germinar, desenvolver-se e reproduzir-se em condições adversas, como déficit hídrico, salinidade, solos ácidos ou alcalinos e temperaturas pouco propícias (SILVA, 2012).

A classificação das plantas daninhas pode ser separada em dois grandes grupos: as “folhas largas” (dicotiledôneas) e as “folhas estreitas” (monocotiledôneas). Folhas largas – são plantas com limbo foliar largo e nervação peninérvea, incluindo as eudicotiledôneas (subclasse de plantas dicotiledôneas, que são distintas pela presença de raízes pivotantes e por uma estrutura de raiz mais sofisticada) e folhas estreitas – são plantas com limbo foliar estreito e nervação paralelinérvea, incluindo as monocotiledôneas (CARVALHO, 2013).

2.2 Planta daninha de folha estreita

A família Poaceae (Gramineae) pertence à ordem Poales destaca-se devido ao seu grande número de espécies, incluindo cerca de 768 gêneros e 11506 espécies (SORENG et al., 2017), é amplamente distribuída e é a quinta maior família de plantas, composta por 12 subfamílias e mais de 11 mil espécies (HUANG et al., 2022). As plantas dessa família possuem folhas anfiestomáticas, ou seja, que contém estômatos nos dois lados da folha, as células-guarda dos estômatos, possuem formatos de halteres e células interestomatais que possuem extremidades quase côncavas, com estômatos organizados em fileira ao longo de suas nervuras; a superfície adaxial encontra-se recoberta por uma cutícula (MACHADO et al., 2008). Em relação aos estômatos na face abaxial da folha contém maior quantidade de estômatos, porém eles estão presentes em ambas as faces da folha (BARROSO, 2013).

Uma outra característica das muitas espécies de gramíneas, é a fixação de carbono pela via fotossintética C_4 , que envolve um intermediário de quatro carbonos, além da fotossíntese típica de C_3 que usa uma via fotossintética de três carbonos intermediário (SCHLÜTER & WEBER, 2020; HUANG et al., 2022). A fotossíntese de C_4 aumenta a concentração local de CO_2 perto da enzima fixadora de carbono Rubisco, melhorando assim a eficiência da

fotossíntese e aumentando a adaptabilidade de plantas C₄, especialmente em ambientes quentes e secos (CHRISTIN et al., 2007; EDWARDS E STILL, 2008).

A dificuldade no controle é devido à sua capacidade de se propagar rapidamente e sua resistência a condições adversas. Além disso, muitas plantas daninhas têm sistemas de reprodução complexos, como sementes que podem sobreviver no solo por longos períodos antes de germinar. Dessa forma, prevenir a sua ocorrência e controlar sua propagação é um desafio. Para lidar com essa questão, é importante adotar abordagens integradas que incluam prevenção, monitoramento e controle, bem como a seleção de culturas resistentes e a rotação de cultivos.

2.2.1 *Digitaria insularis* (L.) Fedde

Conhecida popularmente por capim-amargoso (*Digitaria insularis* (L.) Fedde) é uma planta daninha com alta distribuição em todo território brasileiro durante o ano todo. As suas características mais comuns são a presença de caule subterrâneo tipo rizoma, contendo colmos aéreos, canaliculados e cilíndricos. Suas folhas possuem bainha aberta as quais envolvem praticamente todo entre nó, sua lâmina linear lanceolada apresenta esparsos pelos nas duas faces e margens finamente serrilhadas (FERREIRA et al., 2022).

É uma das espécies que apresenta maior resistência ao glyphosate de casos notificados no Brasil, o fato é que as características relacionadas às estruturas foliares podem mudar de acordo com a idade da planta ou tendo relação apenas com sua resistência (FERREIRA et al., 2022). Os mecanismos de resistência ao glyphosate pode estar relacionada a alterações na anatomia foliar, como à variação da distância de feixes vasculares, a quantidade de estômatos e tricomas modifica a absorção e translocação que impõem diversos impedimentos à penetração do herbicida (BARROSO et al., 2015).

2.2.2 *Cenchrus echinatus* L.

Conhecida popularmente por capim-carrapicho ou timbete, é uma gramínea herbácea de ocorrência bastante generalizada em todo o Brasil, apresentam colmos pouco achatados e eretos, folhas com bainha verde ou levemente pigmentada de vermelho, apresenta uma fenda lateral cuja margem é percorrida por pelos sedosos (MOREIRA & BRAGANÇA, 2011). A habilidade para dispersão durante todos os meses do ano e capacidade reprodutiva aparente maior na época quente e úmida, sendo, portanto, uma espécie de dispersão predominantemente

estival (PACHECO e DE MARINIS, 1984). É considerada uma das seis espécies mais agressivas; de maior dificuldade de controle na cultura do sorgo e do milho (PEREIRA et al., 2015) constituindo-se num grande problema na região dos cerrados, devido à limitada disponibilidade de herbicidas com ação graminicidas registrados e que apresentam seletividade para essas culturas (DAN et al., 2011).

2.2.3 *Urochloa brizantha*

A *Urochloa brizantha* é uma espécie cosmopolita, originária da África e apresenta diversidade de tipos. É descrita como perene, cespitosa, muito robusta, lâminas foliares linear-lanceoladas, com colmos iniciais prostrados, mas produzindo perfilhos predominantemente ereto (SOARES FILHO, 1994). Algumas espécies do gênero *Urochloa*, como *Urochloa brizantha* e *Urochloa decumbens*, possuem ampla adaptação edafoclimática e fácil disseminação devido à grande quantidade de sementes produzidas e à dormência destas, facilitando a sua dispersão ao longo do tempo. (SANTOS et al., 2007).

Um dos obstáculos para a adoção em larga escala do sistema consorciado é o medo que ainda persiste entre muitos produtores em adotá-lo é a alta infestação de gramíneas de propagação seminífera, como as braquiárias, não é tarefa muito fácil, devido à competição exercida por essas espécies e à falta de herbicidas seletivos, com efeito graminicidas. Entretanto, espécies de propagação vegetativa possuem tecido de reserva e, normalmente, toleram doses mais elevadas de herbicidas que as plantas jovens originadas de sementes (SANTOS et al., 2007).

2.2.4 *Eleusine indica* (L.) Gaertn (ELEIN)

Eleusine indica (L.) Gaertn (ELEIN) conhecida popularmente como pé de galinha, é uma gramínea diplóide da Ásia que se adapta a uma ampla gama de temperaturas, e atualmente é uma erva daninha comum em regiões tropicais, subtropicais e temperadas do mundo, é uma das espécies de ervas daninhas anuais mais destrutivas do mundo; tem fertilidade potente e pode produzir mais de 40.000 sementes por planta, ainda, esta espécie pode desenvolver resistência a uma ampla gama de herbicidas (VÁZQUEZ-GARCÍA et al., 2021). Atualmente o capim *E. indica* desenvolveu resistência a 8 modos de ação dos herbicidas diferentes em 13 países, entre os casos de resistência documentados, a maioria foi identificada como resistente ao glyphosate

(CHEN et al., 2020 ; FRANCI et al., 2020). Para Heap (2020), a ocorrência da elevada resistência aos herbicidas é a dependência excessiva de um único herbicida (ou grupo de herbicidas com o mesmo modo de ação) sem usar outras opções de manejo de plantas daninhas.

Os herbicidas são altamente eficazes para o controle, no entanto, a dependência excessiva de herbicidas a longo prazo exerce uma alta pressão de seleção na sobrevivência de plantas daninhas, causando a seleção de populações resistentes aos herbicidas (LI et al., 2022).

2.2.5 *Chloris polydactyla*

Chloris sp. é composto por cerca de 40 espécies, de ampla distribuição territorial possui caule ereto, pouco cespitosa, de colmos glabros e subcilíndricos, com altura que varia de 0,5 a 1,2 m, podendo se propagar por sementes ou por curtos rizomas (LORENZI, 2008). Conhecido como capim vassourinha ou capim branco (*Chloris* sp.) é nativo do continente americano, possuindo ampla distribuição, abrangendo áreas que vão desde os Estados Unidos até a Argentina (KISSMANN, 1997).

O gênero *Chloris* possui oito casos de resistência a herbicidas confirmados no mundo. Nos Estados Unidos foram identificadas duas populações da espécie *C. Barbata* (L.) Sw. resistente aos inibidores do Fotossistema II, na Austrália duas populações da espécie *C. truncata* R. Br. e três populações da espécie *C. virgata* Swartz foram considerada resistente grupo dos inibidores da enzima EPSPs (5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintetase), e como anteriormente citado no Brasil um biótipo de *C. polydactyla* (L.) Sw. também resistente ao grupo de inibidores da enzima EPSPs (HEAP, 2023).

2.3 Dificuldade de controle das plantas daninhas

A morfologia das plantas, especialmente das folhas, influencia a quantidade de herbicida interceptado e retido. A compreensão dos mecanismos de penetração dos herbicidas nos tecidos vegetais torna-se essencial para o sucesso do controle químico de plantas daninhas, sendo as folhas o principal órgão da planta envolvido na penetração dos herbicidas aplicados em pós-emergência (PROCÓPIO et al., 2003). Algumas características morfológicas das gramíneas reduzem a interceptação, absorção ou translocação de herbicidas. Como as folhas dessas plantas que nascem em ângulos muito agudos, as gotículas de herbicida têm dificuldade de penetrar e serem retidas pelo dossel, fazendo com que poucas classes de herbicidas aplicados em pós emergência sejam efetivas contra esse grupo (SHIRATSUCHI; FONTES, 2002).

A solução pulverizada também pode entrar pelos poros estomáticos se estes estiverem abertos, atingindo o parênquima subjacente. É a primeira linha de defesa entre a planta e o meio ambiente, sua estrutura e o conteúdo químico são variados e complexos, mas a passagem bem-sucedida é um aspecto vital da eficácia do herbicida. Geralmente, a cutícula tem 0,1 – 13 μm de espessura e contém três componentes: uma matriz de cutina insolúvel, ceras cuticulares e cera epicuticular que pode variar muito de espécie para espécie (COBB, 2022). No entanto fatores como tensão superficial da gota de herbicida, ângulo de contato, dentre outros podem afetar essa absorção.

O uso de adjuvantes distintos tem melhorado a penetração pelos estômatos e a absorção pela cutícula (OLIVEIRA JR.; CONSTANTIN; INOUE, 2011). Os herbicidas de aplicação foliar geralmente têm seu primeiro contato com a face adaxial das folhas. Sabe-se que em termos anatômicos pode haver diferença entre as faces foliares e isso pode condicionar a absorção do produto (ROMAN et al., 2007). O controle de uma espécie de planta daninha depende do modo de ação do herbicida. O modo de ação é definido como a sequência de eventos bioquímicos e fisiológicos que ocorrem na planta desde o momento em que a planta entra em contato com o herbicida até sua morte completa (NAKKA et al., 2019).

No entanto, quando uma planta é resistente a um herbicida, o herbicida é ineficaz. A aplicação generalizada e recorrente de herbicidas para controlar planta daninhas exerce uma forte pressão de seleção e, em última análise, resulta na evolução e disseminação resistentes a herbicidas. Populações de planta daninhas contêm naturalmente plantas individuais que são resistentes a herbicidas, independentemente do herbicida; mas as frequências provavelmente são extremamente baixas e geralmente é impossível distinguir indivíduos suscetíveis na população (GASQUEZ, 1997). Aplicações repetidas de herbicidas com o mesmo modo de ação selecionam os indivíduos resistentes a herbicidas que sobrevivem e se reproduzem. O uso contínuo de herbicidas com o mesmo modo de ação resulta na rápida disseminação de indivíduos resistentes que eventualmente se tornam o componente dominante da população (NAKKA et al., 2019).

Além da pressão de seleção do uso de herbicidas, outros fatores, como as características biológicas de espécies de plantas daninhas, fatores genéticos, características de herbicidas e práticas agrônômicas também desempenham papéis importantes na evolução e disseminação da resistência a herbicidas em espécies de planta daninhas (DÉLYE, 2013).

As características que facilitam o aumento da resistência incluem a fecundidade das plantas, taxas de germinação, períodos de germinação estendidos, mecanismos de dispersão de sementes, dormência de sementes e frequência inicial de indivíduos resistentes. Fatores

genéticos, como a frequência de mutação e os custos de adaptação de genes de resistência também influenciam a evolução da resistência a herbicidas. A frequência inicial de plantas resistentes e as características do herbicida, como propriedades estruturais, local/modo de ação, atividade residual e práticas agronômicas, como a aplicação de doses menores do que as recomendadas, também desempenham papéis importantes na evolução da resistência.

O tempo de aplicação ou o tamanho das ervas daninhas, as condições meteorológicas e as práticas de rotação de culturas são fatores importantes. Avanços recentes em práticas agronômicas envolvendo plantio direto e plantio reduzido são dependentes de herbicidas e, portanto, aumentam a pressão de seleção imposta às populações de plantas daninhas.

2.4 Herbicidas e formulações

Os herbicidas se caracterizam por serem produtos químicos que possuem a eficiência de eliminar plantas não desejáveis em determinado ambiente (SCHNEIDER et al., 2018). Deste modo, o uso dos herbicidas se torna necessário, sendo classificados como substâncias químicas, capazes de selecionar, eliminar ou suprimir o crescimento de espécies específicas (OLIVEIRA Jr, 2011). A escolha correta do herbicida a ser utilizado depende da cultura instalada, das espécies de plantas daninhas que estão presentes no local e as estratégias como rotação de mecanismos de ação, a fim de evitar a resistência de plantas daninhas (MARCHI et al., 2008). É fundamental para um controle ideal dessas plantas o conhecimento do modo de ação dos herbicidas, sua classificação e forma de aplicação (LORENZI et al., 2014).

Estando dentro das folhas, os herbicidas sistêmicos movem-se dentro da planta de célula a célula ou pelo floema (DUNCAN, 2018). Uma vantagem dos herbicidas pós-emergentes sobre produtos aplicados no solo é que os produtos químicos são aplicados diretamente no alvo, evitando interações entre o herbicida e o solo. A aplicação direta no alvo reduz a variabilidade no desempenho do herbicida, porém, existem ainda vários fatores que influenciam o movimento do herbicida no alvo. Estes fatores são responsáveis por muitas das flutuações na eficácia de herbicidas pós-emergentes (HARTZLER, 2018).

Porém, atualmente a resistência aos herbicidas diminui a eficácia e o uso desses produtos devido a um nível mais baixo de controle e o uso de um único método (GARCÍA et al., 2020). Os herbicidas são um amplo grupo de compostos usados na agricultura como substâncias de proteção de cultivos. São comercializados como produtos fitofarmacêuticos (PPPs), que são em uma ampla gama de formulações, incluindo formas sólida ou líquida (MALDONADO et al., 2021). Os herbicidas são produtos que raramente são aplicados no alvo de forma pura. Dessa

maneira, as formulações carecem ser diluídas antes de sua aplicação, sendo a água o principal veículo para a solubilidade. Portanto, todos os herbicidas devem ser aplicados em um momento adequado para que o controle e seletividade sejam maximizadas.

2.5 Modo de ação dos herbicidas

2.5.1 Inibidor do metabolismo de nitrogênio

O glufosinato é um herbicida de amplo espectro e não seletivo que causa a morte rápida das plantas (atividade de contato). O glufosinato é uma mistura racêmica de *D*- e *L*-fosfinotricina. A *L*-Fosfinotricina é um produto natural de *Streptomyces hygroscopicus* e *Streptomyces viridochromogenes*, e este enantiômero é o único componente ativo do glufosinato (DAYAN, 2020). É usado para manejo de plantas daninhas em áreas não cultivadas e em culturas transgênicas resistentes ao glufosinato. Inibe a glutamina sintetase (GS), uma enzima presente em grande abundância nas folhas das plantas, onde desempenha um papel vital na assimilação do nitrogênio da planta (BERNARD, 2009). O glufosinato se liga ao GS de forma irreversível e resulta no acúmulo de amônia derivada da via fotorrespiratória. Embora exista uma associação entre o mecanismo de ação do glufosinato e sua alteração da via fotorrespiratória, o efeito tóxico do glufosinato não está diretamente ligado ao acúmulo de amônia, mas ao resultado do rápido acúmulo e subsequente peroxidação lipídica (TAKANO et al., 2019).

2.5.2 Inibidor de síntese de aminoácidos aromáticos

Na lista dos produtos mais utilizados em culturas comerciais, herbicidas importantes protagonizaram durante muito tempo o manejo químico está o glyphosate (NETO et al., 2023). A enzima enolpiruvil-chiquimato-fosfato (EPSP) sintetase está envolvida na síntese de aminoácidos aromáticos (tirosina, triptofano e fenilalanina). Esses aminoácidos são precursores de compostos que tem inúmeras funções essenciais nas plantas (STEPHESON et al., 2006). A maioria das espécies de plantas têm níveis muito baixos de chiquimato-3-fosfato (o substrato da EPSPs) ou chiquimato (o substrato da enzima imediatamente antes da EPSPs), mas o tratamento com glyphosate causa altos níveis de acúmulo de chiquimato e, em menor grau, de quimato, outro produto dá um intermediário (3-desidroquinato) da via do quinato hidrolase. O alto teor de chiquimato bloqueia a síntese de EPSP, causa a perda de aminoácidos aromáticos

necessária para a produção de proteínas essenciais para o crescimento da planta (DAYAN, 2020).

O problema mais inequívoco para o uso de glyphosate tem sido a crescente evolução da resistência de plantas daninhas como resultado da enorme pressão de seleção criada pelo uso constante e generalizado dessa tecnologia altamente bem-sucedida. Em meados de 2017, a seleção de espécies de plantas daninhas resistentes ao glifosato compreende 22 espécies de folhas largas e 19 espécies de gramíneas (DUKE, 2018).

2.5.3 Inibidor de síntese de ACCase

Herbicidas inibidores de ACCase, são comumente usados em todo o mundo para controlar seletivamente. Esses herbicidas inibem a enzima Acetil-CoA carboxilase (ACCase), uma enzima chave para a síntese de ácidos graxos em todas as plantas (ANTHIMIDOU et al., 2020). O modo de ação desses herbicidas é a paralização da síntese de ácidos graxos através da inibição da ACCase nos cloroplastos, o que resulta na interrupção da síntese de lipídios e membranas celulares, com paralisação do crescimento e do desenvolvimento celular, sendo que a resposta tóxica ocorre rapidamente em espécies sensíveis; sendo divididos em dois grupos químicos, os Ciclohexanodionas-DIMs e os Ariloxifenoxipropionatos -FOPs (FERREIRA et al., 2003). Esses herbicidas são usados como pós-emergentes primariamente para controle de gramíneas em culturas de folhas largas e possuem muita seletividade com pouca ou nenhuma atividade em folhas largas, são absorvidos pelas folhagens e transcolados no floema para regiões meristemáticas (PETERSON et al., 2001).

2.6 Mistura em tanque

A ordem correta de adição dos produtos na mistura, é uma etapa imprescindível para o sucesso da aplicação. É importante lembrar, que quanto maior o volume inicial de água no tanque, menor serão as chances de incompatibilidade (NOGUEIRA & FIGUEIREDO, 2022). Recomenda-se que se efetue o uso de misturas de diferentes mecanismos de ação para se ter êxito no controle ou mesmo evitar o surgimento da resistência, fazendo-se em que a mistura em tanque tenha com intuito de aumentar o espectro de controle, facilitando desse modo o manejo de plantas daninhas infestantes (MELO et al., 2019; GALON et al., 2020).

Diversos são os casos de plantas daninhas resistentes aos herbicidas inibidores da acetolactato sintase (ALS), fotossistema II e inibidores da enzima 5-enolpiruvilshikimate-3-

fosfato sintase (EPSPs), utilizados para o controle de plantas daninhas anuais e perenes infestantes (HEAP, 2023).

Portanto é importante a associação de herbicidas que potencialize o controle da planta daninha, sem afetar a tolerância da cultura aos herbicidas empregados. A interação sinérgica, para o manejo de plantas daninhas, é o controle superior à soma dos efeitos dos herbicidas utilizados de forma isolada. Sendo assim, o uso de dois herbicidas em conjunto potencializa e torna mais efetivo o controle de infestante na cultura em campo (NOGUEIRA & FIGUEIREDO 2021). A associação com outros herbicidas pode ser uma alternativa para redução dos casos de resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate, sendo este, o principal produto utilizado para o controle de plantas daninhas (GALON et al., 2021).

A mistura de herbicidas no qual o efeito da aplicação em mistura de tanque é inferior ao da aplicação dos produtos individualmente, ou quando um produto piora a eficácia do outro herbicida em mistura, chama-se de efeito antagônico. A interação negativa entre os herbicidas em mistura pode ocorrer por alterações na quantidade do herbicida que atinge seu sítio de ação por meio de mudanças na absorção, translocação ou metabolismo ocasionadas pela presença de outro herbicida (NOGUEIRA & FIGUEIREDO 2021). Herbicidas de contato como o glufosinato destroem com rapidez os tecidos foliares e prejudicam a translocação e absorção de herbicidas sistêmicos (BETHKE, 2013).

No preparo das misturas em tanque, o conhecimento dos tipos de formulações é essencial para evitar problemas de incompatibilidade de calda, entupimento de filtros, contaminação do meio ambiente e operador (GAZZIEIRO et al., 2021). Segundo Oliveira et al., (2021), a ordem de adição das formulações no preparo da calda, pode minimizar problemas de incompatibilidade, adicionando do mais difícil de solubilizar para o mais fácil de solubilizar (Água> Condicionador de calda> PM> WG> SC> SL> CE> Adjuvantes> Fertilizantes foliares> Redutor de espuma).

As incompatibilidades são qualificadas como física, quando se tem; decantação, floculação, granulação; formação de precipitados; separação de fases e química, quando ocorre a alteração da eficiência dos ingredientes ativos das formulações (OLIVEIRA et al., 2021; RAKES et al. 2018). Essas incompatibilidades como, por exemplo, a floculação, podem ocorrer devido alterações de pH da calda, alto tempo de armazenamento sem agitação e alta concentração dos produtos no momento da mistura (FREIRE, 2006). A formação de grumos ocorre pela inibição de dispersão adequada e pela estabilidade química dos produtos misturados. Já a separação de fases pode ocorrer devido à baixa agitação do sistema e os tipos de formulações utilizados (OLIVEIRA et al., 2021).

2.7 Propriedades físico-químicas da calda

A adição de adjuvantes à calda de pulverização pode alterar as propriedades físico-químicas das misturas sendo as causas mais comuns a ação sobre o pH, sobre a condutividade elétrica e sobre a tensão superficial (CUNHA; ALVES; MARQUES, 2017). O pH é o valor decimal, está relacionado com a concentração em íons hidrogênio, influenciando na absorção dos produtos fitossanitários, eficiência do ingrediente ativo, corrosividade e compatibilidade de mistura (VÁZQUEZ e CUNHA, 2010). No caso dos herbicidas a sua eficiência e absorção foliar é potencializada quando se encontram na faixa de 4,5 (SANCHOTENE et al, 2007). Outro fator a ser observado é o pH da água quando vai ser adicionado o produto fitossanitário. Segundo Queiroz (2008) a água que apresenta uma dureza muito alta, afeta negativamente a estabilidade e eficiência do produto, sendo necessário a adição de produtos tensoativos não iônicos para realizar a correção do pH.

A condutividade elétrica é relacionada com a presença de íons na sua concentração e valência e vai ser determinada pelos tipos de formulações, quantidades de produtos que vão ser adicionados e qualidade da água (CUNHA; ALVES; MARQUES, 2017). Também pode estar relacionada com o aumento da eficácia biológica e uma importante ferramenta para auxiliar nas pulverizações eletrostáticas (CARLSON, BURNSIDE, 1984; MASKI, DURAIRAJ, 2010).

A força que existe na superfície dos líquidos é chamada de tensão superficial. Esta tensão se deve às fortes ligações intermoleculares, as quais dependem das diferenças elétricas entre as moléculas, e pode ser definida como a força por unidade de comprimento que duas camadas superficiais exercem uma sobre a outra (SILVA et al., 2006). A tensão superficial de um líquido é resultado das forças de coesão entre as moléculas da superfície. Essas moléculas não tendo outras moléculas em um dos seus lados apresentam forças de atração maiores com suas moléculas vizinhas, tendendo a minimizar a área superficial devido ao excesso de energia localizada (Queiroz et al., 2011).

A tensão superficial de um produto está diretamente ligada à polaridade de sua estrutura química, sendo uma importante característica físico-química, pois influencia na molhabilidade, absorção e penetração dos produtos fitossanitários (OLIVEIRA, 2011). A água, considerada o principal meio para a diluição apresenta uma alta tensão superficial ($72,9 \text{ mN m}^{-1}$), devido a superfície altamente polar e rica em pontes de hidrogênio, resultando em dificuldades na umectação de uma superfície apolar, induzindo as gotas pulverizadas a manterem-se em formato esférico (OLIVEIRA, 2011; GREISANG, FERREIRA, 2021). Desse modo, o uso de adjuvantes tem com a função de reduzir a tensão superficial são fundamentais para a aplicação

para que se tenha uma maior interação do produto e alvo (HAZRA, 2017). Nesse sentido, o cuidado com processo de preparo das misturas de produtos fitossanitários é de grande importância para o sucesso da aplicação.

2.8 Adição de adjuvantes na mistura de herbicidas para folhas estreitas

A aplicação de herbicidas é afetada por muitas variáveis, incluindo a estabilidade do produto fitossanitário, solubilidade, incompatibilidade, volatilização, formação de espumas, tensão superficial, viscosidade, densidade, tamanho de gotas, deriva, cobertura, aderência, penetração, entre outras. Os adjuvantes são o ponto chave para o controle destas variáveis que quando controladas muitos problemas das aplicações de produto fitossanitário serão minimizados ou eliminados e melhores serão os resultados da aplicação (HOCK, 2004). Os adjuvantes podem ser designados para desempenhar específicas funções, incluindo tamponantes, dispersantes, emulsificantes, molhantes, adesivos e espalhantes. Também pode reduzir a evaporação, espuma, volatilização e deriva. Um simples adjuvante não pode desempenhar todas estas funções, mas diferentes adjuvantes compatíveis frequentemente são combinados para desempenhar múltiplas funções simultaneamente (TU; RANDALL, 2003).

A maioria dos produtos fitossanitários penetra mal das plantas quando aplicados sozinhos e, portanto, requerem um adjuvante para que ocorra a absorção. O adjuvante aumenta a quantidade de absorção no ambiente lipofílico da cutícula (COBB, 2022). O adjuvante induz um desarranjo normal das células reguladoras da permeabilidade. Eles têm a capacidade de reduzir a tensão superficial da gota, o que diminui o ângulo de contato entre as gotas e a cera cuticular da folha, proporcionando maior molhamento e espalhamento sobre a superfície alvo (HESS; FOY, 2000; WAGNER et al., 2003).

A maioria dos adjuvantes de mistura de tanque comumente usados incluem óleo vegetal e óleo mineral (APPAH et al., 2020). São adicionados a mistura com o objetivo de modificar a ação química e as propriedades físicas da calda e tem se tornado uma importante ferramenta para a aplicação dos produtos fitossanitários, pois podem melhorar diretamente o seu desempenho, além de minimizar os efeitos das condições ambientais desfavoráveis no momento da aplicação (HAZEN, 2000; OLIVEIRA, 2011).

Os óleos minerais são derivados do petróleo (petróleo bruto extraído das refinarias). Segundo Antuniassi (2009), a utilização de óleos nas caldas tem como função principal de melhorar a penetração e adesão dos defensivos nas folhas. O óleo mineral emulsionável é um produto que contém 5% de surfatante e o restante de óleo mineral altamente refinado

(OLIVEIRA, 2011). Adjuvantes da classe dos surfatantes, principalmente combinados a óleos, são conhecidos por oferecer equilíbrio das propriedades lipofílicas e hidrofílicas servindo como solvente para herbicidas na superfície da folha aumentando sua solubilidade e induzindo a infiltração estomática direta da solução de pulverização (HESS, 2000). No entanto, o desempenho dos adjuvantes é dependente do herbicida com o qual são aplicados, da superfície alvo e das condições ambientais (KNEZEVIC et al., 2009).

Os óleos podem favorecer o espalhamento e a absorção por apresentarem uma porção variável de surfatante em sua composição, em média de 5 a 9%, reduzindo a taxa de degradação do ingrediente ativo do produto fitossanitário e a tensão superficial da calda (ARAÚJO & RAETANO, 2011). Segundo Mendonça et al. (2007), os óleos emulsionáveis utilizados como adjuvantes contêm 80 a 98% de óleo não fitotóxico e 2 a 20% de surfatante e, nessa formulação, podem aumentar a absorção de herbicidas lipofílicos, comparados à utilização somente do surfatante. A adição de adjuvantes pode ajudar a solucionar esses desafios, melhorando a dispersão e a aderência do herbicida na superfície da folha estreita. Estudos têm mostrado que a adição de adjuvantes à mistura de herbicidas pode aumentar a eficiência da aplicação em até 25%, dependendo do tipo de adjuvante e das condições meteorológicas (POWELL et al., 2009).

Em geral, aumentando a quantidade de herbicida depositado sobre o alvo ou melhorando a uniformidade da pulverização sobre o dossel tem-se como resultado o melhor controle da planta daninha. Que pode ser realizado com produtos sistêmicos ou de contato, aplicados na dessecação, pré e pós-emergência, isolados ou em mistura, e aplicações sequenciais do mesmo ou de diferentes herbicidas (SALVALAGGIO et al., 2018). Dentre as características físicas e químicas, ressalta-se que a adição de adjuvante é uma propriedade importante durante a aplicação de herbicidas, pois uma boa molhabilidade e penetração na massa de folhas favorecem a adesividade, retenção e absorção dos produtos pelas plantas (CUNHA & ALVES, 2009; BAILO et al., 2015).

2.9 Interação dos herbicidas com o alvo

As formulações de herbicidas aplicadas na forma de pulverização foliar, podem influenciar as etapas da aplicação, incluindo a formação de gotas em seu destino final (espectro, velocidade, deriva, evaporação e deposição), quando cruzam o alvo (aderência, retenção, saltar e deslizar), quando estiverem em contato com a superfície da folha (molhando e espalhando), e a dinâmica do movimento aditivo no alvo (persistência, absorção e translocação) (NAIRN et al., 2015; ARAND et al., 2018; CAVALIERI et al., 2022).

A deposição é definida como a quantidade de produto em uma determinada área da planta. A otimização da deposição envolve em aumentar a probabilidade de as gotas atingirem a planta. A quantidade de produto depositado retida pela planta é conhecida como retenção, e sua eficiência é determinada pela contribuição de cada gota no alvo (MASSINON et al., 2015). Muitos parâmetros influenciam o comportamento da deposição das gotas, desde as propriedades físico-químicas das gotas até as propriedades do alvo.

Absorção dos herbicidas pelas plantas resulta em diferenças na translocação de herbicidas no interior das plantas. Plantas susceptíveis translocam mais quantidade de herbicida em comparação com os resistentes ou tolerantes. A translocação pode ser apoplástica, simplástica ou ambos à base de herbicida. Herbicidas sistêmicos podem passar de local de aplicação ao local de ação através do floema, xilema ou ambos, mas o herbicida de contato tem muito pouco ou nenhum movimento do local de aplicação (RANA & RANA, 2015).

Os fatores predominantes que afetam a retenção da gota estão relacionados à superfície alvo (JOURNAUX et al., 2011). As folhas das plantas exibem vários graus de molhabilidade; fácil e difícil de molhar, dependendo das espécies e estágios de crescimento devido ao revestimento de cera epicuticular na superfície da folha (BARTHLOTT et al., 1998; MASSINON, 2014). A cutina é um poliéster à base de uma série de ácidos graxos hidroxilados, comumente com 16 ou 18 átomos de carbono, cuja proporção relativa varia de acordo com a espécie (LECAS; BRILLOUET, 1994). Cristais característicos da superfície epicuticular formados de cera, que são muito distintivos como crostas ou agregados. Essas estruturas podem não estar uniformemente distribuídas por toda a superfície da folha e as diferenças pode existir entre as superfícies superior (adaxial) e inferior (abaxial) e são frequentemente menos evidentes nas células guarda estomáticas. Sua presença muitas vezes dá à folha uma aparência opaca ou transparente, enquanto as folhas sem projeções de cera epicuticular aparecem brilhante (COBB, 2022).

A biossíntese lipídica cuticular é muito sensível às condições e sinais ambientais como intensidade de luz, fotoperíodo, umidade, frio, teor de umidade do solo e estação do ano, todos têm um efeito no desenvolvimento cuticular e, portanto, na eficácia do herbicida. Em particular, a mudança de umidade alta para baixa pode desencadear a produção de cera por mais ordem de grandeza (COBB, 2022).

A molhabilidade do herbicida na superfície é frequentemente quantificada usando o ângulo de contato estático (θ), medido entre a superfície sólida e a tangente à gota no ponto onde líquido, sólido e ar se encontram. Ele reflete a força relativa das interações moleculares de líquido, sólido e vapor. Alto ângulo de contato estático ($90^\circ < \theta < 150^\circ$) reflete superfícies

hidrofóbicas. O ângulo de contato estático acima de 150° determina superfícies superhidrofóbicas. O comportamento superhidrofóbico de algumas folhas decorre da presença de uma microestrutura de ceras epicuticular; que são de espécies superhidrofóbicas, como as gramíneas, que proporciona um alvo desafiador para a aplicação eficiente de herbicidas (MASSINON, 2014).

Em resumo, a cutícula age como barreira entre a folha e o ambiente, prevenindo a perda excessiva de água pela transpiração celular e protegendo a célula contra estresse biótico e abiótico. Variação na composição química, características morfológicas e estruturais da cera epicuticular entre espécies de plantas daninhas, associado às condições ambientais, são fatores determinantes da seletividade e eficácia de alguns herbicidas. Adjuvantes são acrescentados à calda de pulverização com o objetivo de melhorar a eficiência das pulverizações foliares de herbicidas, reduzir o impacto das interferências ambientais e permitir uma penetração cuticular mais eficiente (STOUGAARD, 1997), facilitar o molhamento em superfícies hidrorrepelentes e facilitar o contato da calda com a cutícula em superfície pilosas, as quais tendem a manter as gotas suspensas (KISSMANN, 1996).

2.9.1 Fatores que afetam a capacidade de espalhamento e evaporação das gotas de pulverização no alvo

A eficácia de um herbicida está relacionada com a área de espalhamento e com o tempo de evaporação de gotas em uma superfície foliar e a sua área de propagação, que pode ser reduzida se as gotas de ingredientes ativos não forem uniformemente espalhadas, especialmente sobre as superfícies foliares de difícil molhamento (XU et al., 2010).

Existem alguns fatores que influenciam o espalhamento das gotículas sendo divididos em três grupos. O primeiro grupo inclui fatores relacionados ao entorno como temperatura, umidade relativa do ar e vento (JANUSZKIEWICZ, 2019). O segundo grupo compreende fatores associados a calda aplicada, sua qualidade, dose, solubilidade em água, pH e qualidade da água utilizada para pulverização. O último grupo é composto por fatores relativos à anatomia e morfologia da planta, em especial as folhas (BEATTIE & MARCELL 2002 ; XU et al. 2010).

O tamanho da área de espalhamento é fortemente afetado pela rugosidade da superfície foliar (PEIRCE et al., 2014). É induzida por ceras epicuticulares, tricomas e outras consequências estruturais. As variedades e espécies de plantas variam significativamente em sua topografia de superfície. As diferenças estão associadas principalmente à forma e tamanho de células epidérmicas, dobras cuticulares e cristais de cera epicuticular (KHAYET &

FERNÁNDEZ, 2012). Ao diminuir a tensão superficial da solução, os adjuvantes reduzem o efeito da rugosidade da superfície externa da folha potencializando assim o efeito do produto na superfície foliar (JANUSZKIEWICZ, 2019).

Muitos herbicidas sistêmicos devem superar a barreira da cutícula e entrar nas células das folhas. Esse transporte pode envolver processos de difusão ativa e/ou passiva. Uma vez dentro do simplasto, os herbicidas sistêmicos translocam das folhas de origem para as folhas mais jovens através do floema (GAINES et al, 2020). A resistência ao herbicida devido à translocação reduzida ocorre quando o herbicida está contido nas folhas de origem e impedido de se translocar para folhas jovens. Mecanismos que aprisionam o herbicida nas folhas de origem (por exemplo, tricomas foliares) ou impedem seu movimento normal para os pontos de crescimento através das barreiras de membrana (através da atividade alterada dos transportadores ativos de membrana) reduzirão a quantidade total de herbicida translocado, conferindo resistência (BURNS, 2017).

Já para os produtos com ação de contato geralmente necessitam de maior cobertura do alvo, por isso precisam de maior volume de calda (CAMPLI et al., 2022). Eles permanecem na superfície foliar e estabelecem uma película química e o espalhamento de gotas aumenta a chance controle da planta daninha (TOFOLI et al., 2012). Portanto, a eficiência das aplicações de produto fitossanitários é frequentemente relacionada com o espalhamento e a evaporação das gotas aplicadas, e pode ser reduzida se o ingrediente ativo não se espalhar de forma uniforme sobre o alvo (XU et al., 2010). A fragmentação da calda em gotas aumenta a superfície exposta do líquido, o que contribui para a evaporação. O uso de gotas grandes minimiza perdas por deriva e evaporação, no entanto, proporcionam menor cobertura quando comparadas às gotas mais finas (ANTUNIASSI; BAIIO, 2008).

Quando as gotas são depositadas sobre o alvo, irão ocorrer os processos de espalhamento e evaporação (ZHU et al., 2008). Yu et al. (2009) relatam que o tamanho de gotas, umidade relativa do ar, estrutura da folha e o tipo de formulação são fatores que mais influenciam a evaporação de gotas na superfície das folhas. O tempo de evaporação da gota influencia na absorção e translocação do ingrediente ativo. Ramsey et al. (2005) relatam que após a evaporação das gotas, as folhas podem parar de absorver o produto fitossanitário. De acordo com Yu et al. (2009) e Xu et al. (2011), após a evaporação podem se formar cristais do ingrediente ativo, que impede sua absorção, pode ser prevenida pelo aumento do tempo de evaporação. Este aumento, de acordo com Ramsey et al. (2006), aumenta a eficácia da aplicação. No entanto, quanto maior o tempo para evaporação destas gotas, maior a possibilidade da redução da eficácia devido ao possível escorrimento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do experimento

A pesquisa foi executada no Núcleo de Investigação em Tecnologia de Aplicação e Máquinas Agrícolas - NITEC, na Universidade Estadual do Norte do Paraná – UENP, *Campus* Luiz Meneghel, Bandeirantes - PR. A escolha dos herbicidas foi devido a sua representatividade de uso para o controle de plantas daninhas de folhas estreitas. Neste experimento avaliou-se o espalhamento e o tempo de evaporação sob condições controladas de temperatura ($30\pm 3^\circ\text{C}$) e umidade relativa do ar ($55\pm 5\%$), de caldas contendo herbicidas que foram depositadas na superfície adaxial de folhas de cinco espécies de plantas daninhas de folhas estreitas.

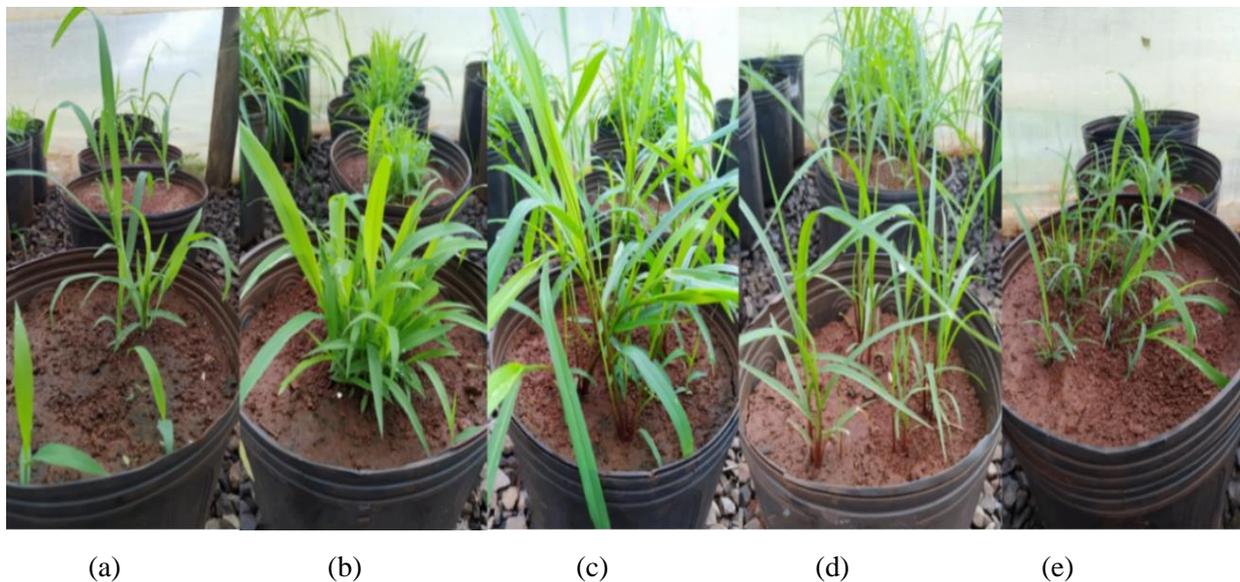
3.2 Cultivo das Plantas Daninhas

As cinco espécies de plantas daninhas de folhas estreitas foram: Capim amargoso (*Digitaria insularis* (L.) Fedde); Capim carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.); Capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica* (L.)); Capim-branco (*Chloris polydactyla*) e Capim Brachiaria (*Urochloa brizantha*). As espécies foram semeadas em vasos de 10 L, preenchidos por 70% de solo agrícola, 30% de areia e 10 g de NPK sendo separadas em 5 vasos por espécies totalizando 25 vasos, que foram cultivadas em casa de vegetação, e para as análises de área de espalhamento e tempo de evaporação todas as plantas estavam no estágio de quatro perfilhos de desenvolvimento (Figura 1 e 2).

Figura 1 – Distribuição dos vasos na casa de vegetação. **Foto:** Paduan, N.A. (2022).



Figura 2 – Espécies de plantas daninhas utilizadas: (a) Capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica* L.); (b) Capim amargoso (*Digitaria insularis* (L.) Fedde); (c) Capim brachiaria (*Urochloa brizantha*); (d) Capim carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.); (e) Capim-branco (*Chloris polydactyla*). **Foto:** Paduan, N.A. (2022).



3.3 Tratamentos

Foram utilizados os herbicidas Finale[®]; Roundup Transorb R[®]; Verdict Max[®] e Select One Pack[®] e dois óleos minerais Assist[®] e Joint oil[®] nas doses recomendadas pelos fabricantes para controle de plantas daninhas na cultura da soja. Os produtos com a classe funcional, formulação e doses utilizadas no experimento estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Produtos, ingrediente ativo, formulação, concentração e doses utilizadas no experimento.

| Produto | Ingrediente ativo | Formulação | Concentração (i.a e.a) | Dose (L p.c ha ⁻¹) |
|---------------------------------|-----------------------|------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Finale [®] | Glufosinato | SL | 200 g L ⁻¹ | 2,0 L ha ⁻¹ |
| Roundup Transorb R [®] | Glyphosate | SL | 480 g L ⁻¹ | 2,5 L ha ⁻¹ |
| Verdict Max [®] | Haloxifope-R-metílico | EC | 520 g L ⁻¹ | 0,10 L ha ⁻¹ |
| Select One Pack [®] | Cletodim | EC | 120 g L ⁻¹ | 0,80 L ha ⁻¹ |
| Assist [®] | Óleo mineral | EC | 756 g L ⁻¹ | 0,25% |
| Joint Oil [®] | Óleo mineral | EC | 761 g L ⁻¹ | 0,50% |

*SL: Concentrado Solúvel; EC Concentrado emulsionável.

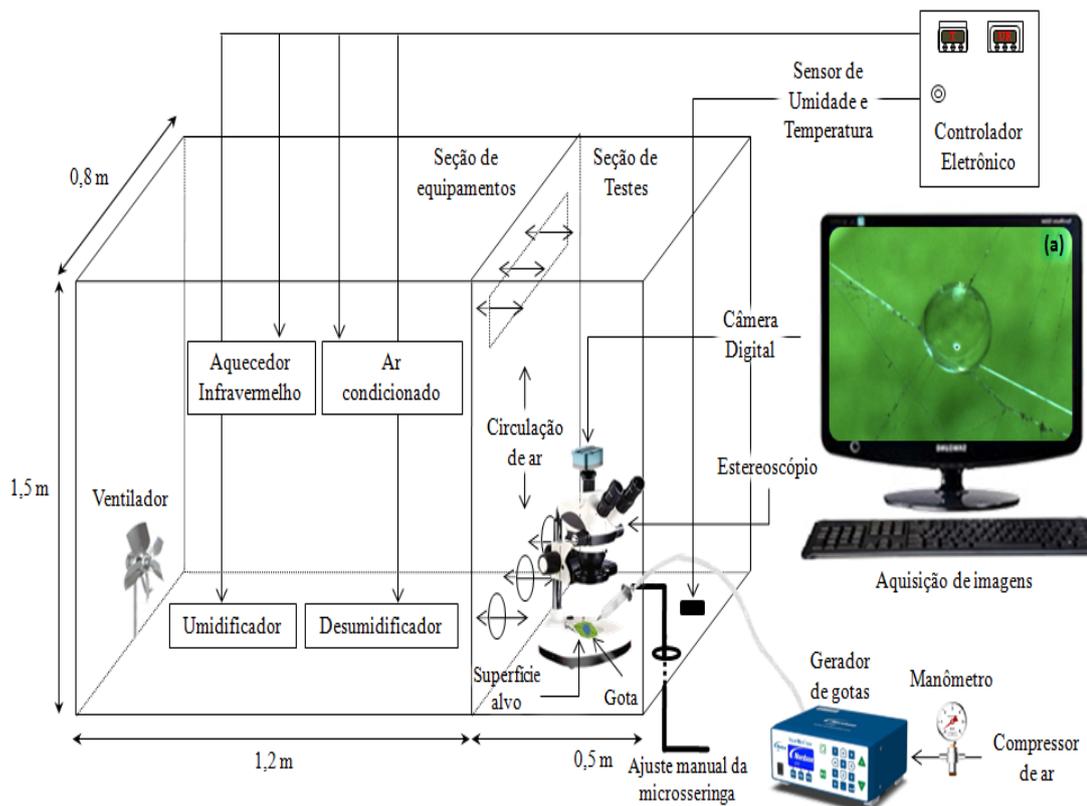
Para análise de espalhamento e do tempo de evaporação foram utilizadas as seguintes caldas oriundas das combinações dos produtos: Finale[®] + Assist[®]; Roundup Transorb R[®] + Select One Pack[®]; Roundup Transorb R[®] + Verdict Max[®] + Joint Oil[®] nas doses descritas na Tabela 1.

Os produtos foram calculados em concentrações para taxa de aplicação de 100 L ha⁻¹. As caldas foram preparadas com água destilada, momentos antes de serem utilizadas.

3.4 Análise de espalhamento e tempo de evaporação

Para análises do tempo de evaporação e espalhamento de gotas sob diferentes superfícies foram utilizados o sistema experimental representado na Figura 3. O sistema de análise de espalhamento e tempo de evaporação é composto por sensores e controladores de temperatura ($\pm 3^\circ\text{C}$) e umidade relativa do ar ($\pm 5\%$) e um gerador de gotas (precisão de $\pm 20\ \mu\text{m}$) e um estereoscópio equipado com uma câmera de alta definição para captura de imagens sequenciais como representado na Figura 4.

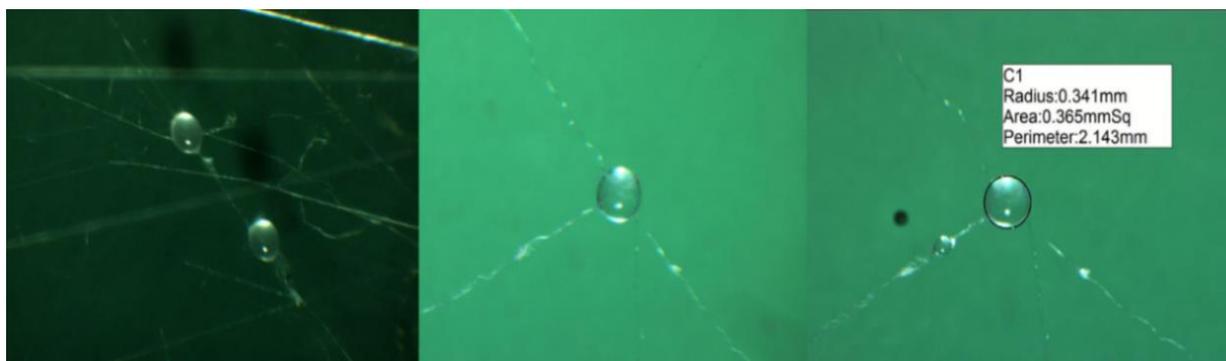
Figura 3 - Sistema experimental de análise da área de molhamento e tempo de evaporação após a deposição da gota no alvo (Oliveira et al., 2013).



As gotas foram depositadas na parte adaxial de diferentes superfícies de plantas daninhas. Foram produzidas através de um gerador de gotas que possui um regulador de quantidade de líquido para controlar os tamanhos de gotas baseado num modelo de tempo, pressão do ar do fluido dispensado e vácuo (Model Ultimius V, EFD Inc., East Providence, RI). Um sistema de solenóide de alta velocidade que proporciona um controle para a produção de gotas de tamanho homogêneo.

O tamanho das gotas foi de 800 μm e a padronização e estabilidade do tamanho das gotas foi validada por meio da deposição em fios de teia de aranha que são impermeáveis à água e que permite visualizar e manter a gota na forma esférica para a medição de seu diâmetro (Figura 4). As gotas utilizadas no experimento são consideradas ultra grossas de acordo com a ANSI/ASAE S572.3 (FEB2020) (Diâmetro Mediano Volumétrico maior que 686 μm). Gotas desse tamanho são recomendadas para evitar a deriva nas aplicações de herbicidas.

Figura 4 – Gotas depositadas de 800 μm sob teias de aranha para realização da calibração do tamanho de gotas.



As gotas na superfície foram visualizadas com o auxílio de um estereoscópio (zoom 1,5x) e extensões de intervalo com Ampliação de 10x em uma combinação oculares objetivas especiais (Bel Engenharia) acoplado a uma câmera de alta resolução gerando imagens 1260x960 de resolução. O diâmetro da gota foi medido, em mm^2 , com a marcação de polígonos na imagem, através do software Iscapture 2.2.1 (Scienon Technology Co. Ltda).

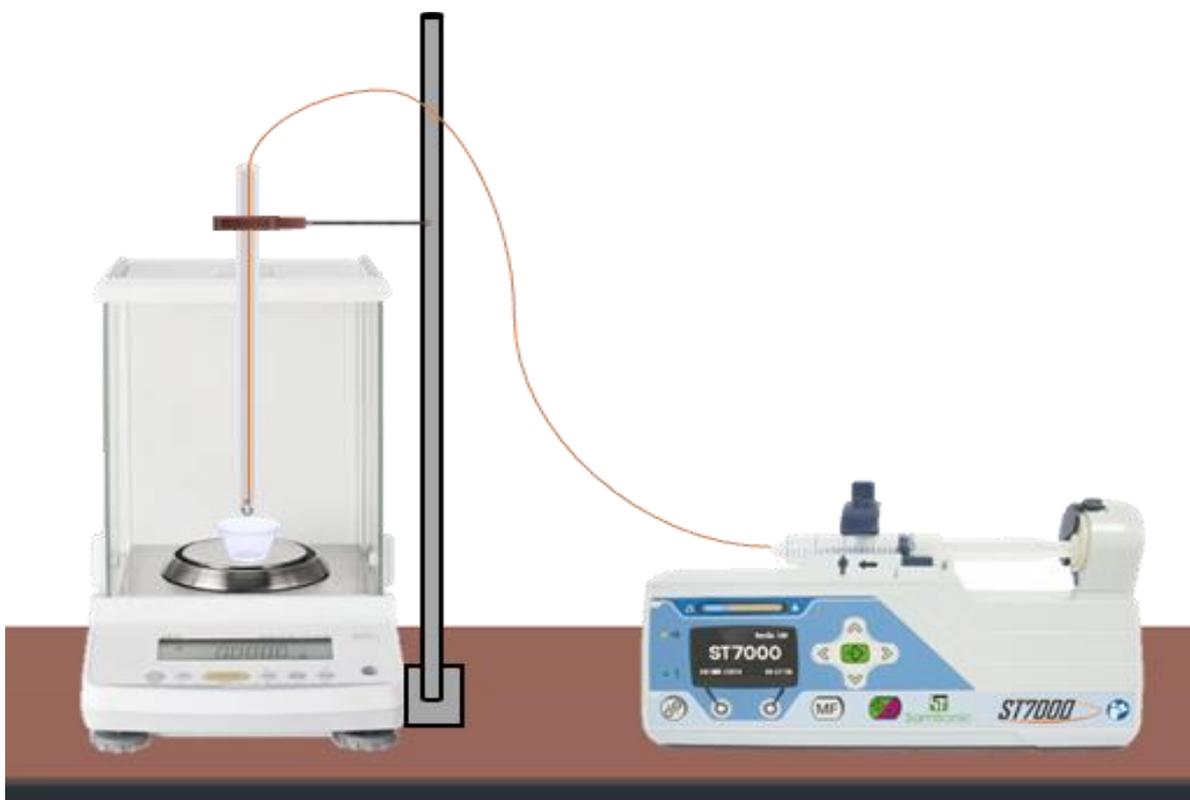
As imagens foram capturadas simultaneamente a deposição das gotas sob as superfícies, em intervalos de três segundos até a total evaporação da parte líquida e/ou secagem, deixando apenas os sólidos da solução na superfície. A área de molhamento foi delimitada pela função de polígono, considerando a área máxima proporcionada por cada gota. O tempo de evaporação foi medido através do intervalo entre deposição de gotículas e extinção da parte líquida, registrada pelas imagens sequenciais capturadas durante a evaporação. Assim, o tempo de

evaporação foi calculado usando o número de fotos multiplicado pelo intervalo entre as fotos, de acordo à metodologia desenvolvida por Zhu et al. (2008).

3.5 Análises da tensão superficial das caldas

A tensão superficial foi realizada para cada calda, pelo método gravimétrico por meio da pesagem de 30 gotas por repetição, constituída por uma bomba de infusão (Samtronic ST7000) com fluxo de 6 mL h^{-1} para manter um volume constante na geração de gotas. Na bomba de infusão, conectou-se uma seringa de 10 mL contendo as amostras dos tratamentos a um extensor, posicionado verticalmente a uma balança de precisão ($0,0001 \text{ g}$) (Figura 5). Os dados de peso das gotas foram convertidos para tensão superficial, considerando uma média da tensão superficial das gotas da água destilada como $72,6 \text{ mN m}^{-1}$, conforme metodologia desenvolvida por Costa (1997).

Figura 5 - Bomba de infusão modelo Samtronic ST7000 com fluxo de 6 mL h^{-1} , utilizada para realização da tensão superficial. **Ilustração:** Paduan, N.A. (2022).



3.6 Análises do pH das caldas

Para determinação do pH foi utilizado um pHmetro, do modelo Digimed (Figura 6). É um medidor digital de pH, é indicado para fazer controle de qualidade de pH em água, etanol, efluentes, alimentos e soluções aquosa. Além disso é usado para medida de concentração de íons seletivo. Medidor robusto, decolado micro switch a prova de respingos e solventes orgânicos e acompanha suporte de eletrodo para facilitar o uso em laboratório.

Figura 6 – Análise do pH das caldas. **Foto:** Paduan, N.A. (2022).



3.7 Análises de condutividade elétrica

A condutividade elétrica e a temperatura da calda foram medidas por um condutivímetro microprocessador portátil R-TEC-4P_MP (Figura 7), que tem como características de fazer leituras de condutividade em águas (S/cm), álcool (S/m) e STD Sólidos Totais Dissolvidos com fator programável.

Figura 7 – Análise da condutividade elétrica das caldas. **Foto:** Paduan, N.A. (2022).



3.8 Análise dos dados

Os dados foram analisados pela estatística descritiva e exploratória e os pressupostos da análise de variância. Os dados foram analisados considerando um esquema fatorial (5 x 3), cinco espécies x três caldas de aplicação e realizado a análise de interação e desdobramento das médias e comparações pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As análises foram realizadas no software R (Version 4.2.1 (2022-06-23 ucrt)).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 está apresentado os valores de tensão superficial das caldas de herbicidas utilizadas. A tensão superficial é uma propriedade física que afeta diretamente a capacidade de uma solução se espalhar sobre uma superfície. Quanto maior a tensão superficial, mais difícil é para as gotas de pulverização se espalharem e aderirem à folha. Isso pode reduzir a eficácia do controle de plantas daninhas, uma vez que as gotas podem não conseguir penetrar nas camadas de cera presentes na superfície foliar.

Os resultados apresentados mostram que a calda de Finale[®] + Assist[®] proporcionou menor tensão superficial ($32,02 \text{ mN m}^{-1}$) e, conseqüentemente essa mistura de herbicida e adjuvante apresentou maior espalhamento na superfície foliar de *Eleusine indica* (Figura 8). A redução da tensão superficial, contribuiu com o espalhamento de gotas o que aumenta a superfície de contato e deixa a gota mais exposta a trocas gasosas com a atmosfera, e por isso também está relacionada com o processo de evaporação (VILELA, 2012).

Para a superfície da *Digitaria insularis* as diferenças de tensão superficial das caldas não foram suficientes para proporcionar diferenças no espalhamento, ou seja, esses níveis de tensão ainda podem ser altos e por isso a baixa interação destes herbicidas com a sua superfície. No entanto, a eficácia dos herbicidas na superfície da *Digitaria insularis* pode ser comprometida se as gotas contendo os ingredientes ativos não forem uniformemente espalhadas sobre a superfície foliar (Xu et al., 2010). Desta forma, reduzir a tensão superficial, demonstra a presença de compostos tensoativos na formulação dos produtos. Cunha et al. (2017), avaliando as características físico-químicas em caldas de pulverização, mostraram que há interações de adjuvantes e herbicidas, o que pode levar a alterações não previstas na tensão superficial da calda.

A calda de Roundup Transorb R[®] + Select One Pack[®] foi a que apresentou maior pH (6,81) e menor valor para a condutividade elétrica (0,0022 Simens). A máxima absorção e eficiência de herbicidas com caráter de ácido fraco ocorre em pH em que 50% das moléculas encontram-se dissociadas (QUEIROZ et al., 2008). O pH da água, segundo Kissmann (1997), pode influir no resultado da aplicação, pelas seguintes razões: quando o pH da água está alto, pode acelerar a degradação do herbicida por hidrólise alcalina; sendo que a constante de dissociação de muitas moléculas de herbicidas depende do pH, e a sua absorção pelos tecidos vegetais varia, dependendo de a molécula ser íntegra ou dissociada em cátions e ânions.

Os resultados apresentarem que a funções dos adjuvantes compreendem o estímulo da atividade fisiológica das plantas, e tendo relação positiva com a adequação do pH da calda (sequestrantes de cátions e sulfato de amônio). Tendo função também, em algumas superfícies foliares a redução da evaporação (óleos vegetais e minerais e umectantes), o aumento da absorção (uréia), o aumento da adesão das moléculas às plantas (adesionantes), a facilitação da penetração das gotas nos tecidos vegetais (óleos vegetais e minerais), a redução da decantação da calda (dispersantes), a facilitação de misturas (emulsificantes), a redução da formação de espuma ou quebra rápida da espuma formada (antiespumante) e a acidificação da calda (acidificantes) e a redução da formação de gotas pequenas (espessantes ou redutores de deriva) (BOLLER et al., 2007).

Tabela 2 – Propriedades físicas e químicas das caldas de pulverização. Letras iguais não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

| Caldas | Tensão superficial (mN m^{-1}) | Condutividade elétrica (Simens) | pH |
|---|--|------------------------------------|--------|
| Finale [®] + Assist [®] | 32,02±0,13 b | 0,0051 a | 4,72 b |
| Roundup Transorb R [®] + Select One Pack [®] | 36,49±0,16 a | 0,0022 b | 6,81 a |
| Roundup Transorb R [®] + Verdict Max [®] + Joint Oil [®] | 36,97±0,14 a | 0,0051 a | 4,74 b |

Com relação as característica e aspectos morfológicos e bioquímicos da superfície vegetal onde a gota se deposita, existem superfícies com maior e com menor grau de afinidade com o herbicida (GRIESANG & DA COSTA FERREIRA, 2021). Portanto, o espalhamento e a adesão das gotas às superfícies serão resultantes da combinação de características do líquido e da superfície da planta daninha.

Nas Figuras 8 e 9 estão apresentados os resultados do espalhamento das gotas de herbicidas sob diferentes espécies de plantas daninhas de folhas estreitas. Observa-se que houve interação entre as caldas de pulverização e as espécies de plantas daninhas, ou seja, o espalhamento é dependente da espécie e do tipo de caldas de herbicidas. A maior área de espalhamento significa melhor distribuição do herbicida na superfície foliar.

Figura 8 – Área máxima de espalhamento de gotas de herbicidas depositadas em superfícies de plantas daninhas de folhas estreitas. Médias apresentam letras minúsculas para superfície das plantas daninhas, e maiúscula para os tipos de caldas, letras iguais não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As barras de erros representam o intervalo de confiança ($IC_{95\%}$). *RTR: Roundup Transorb R®.

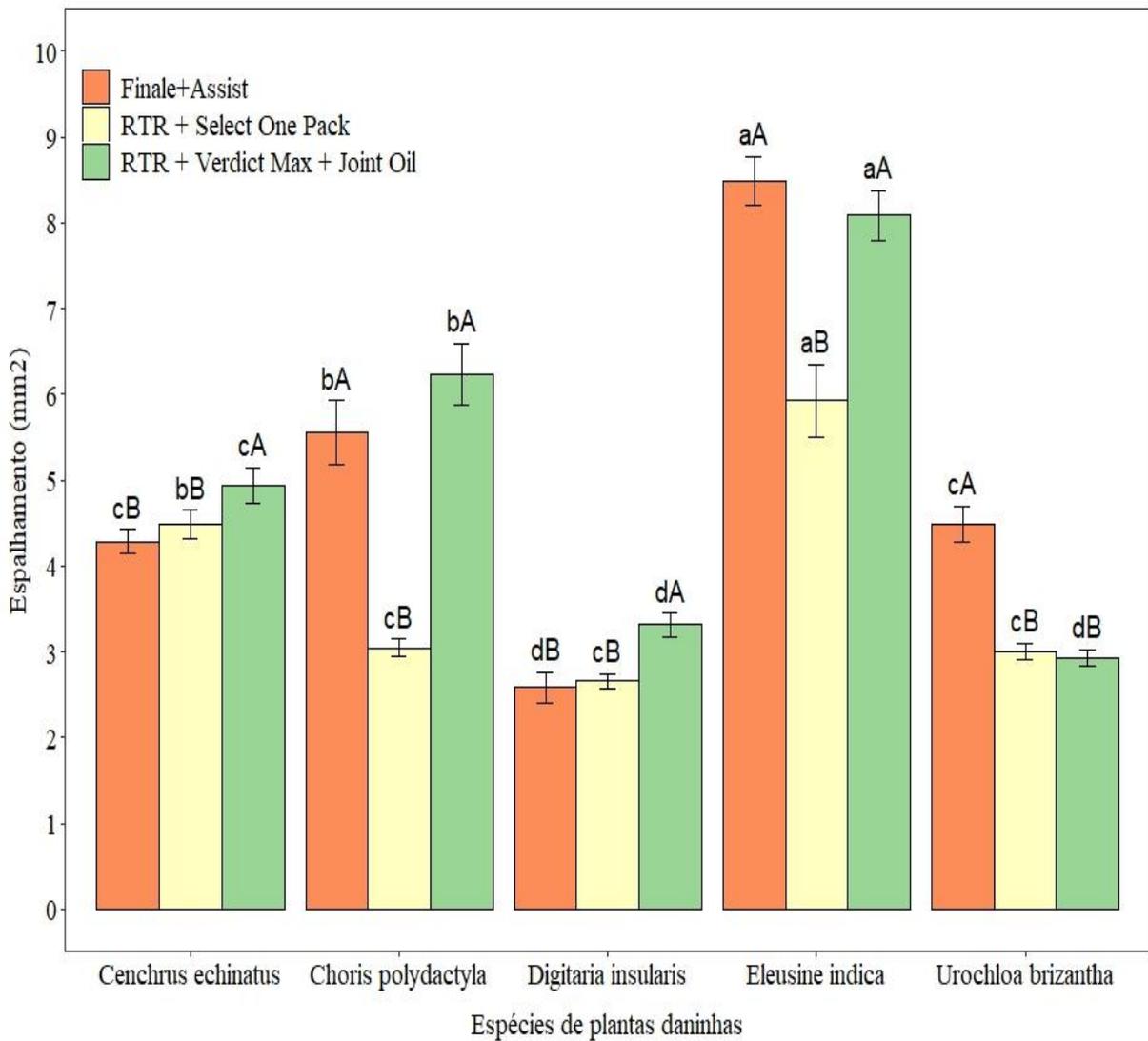
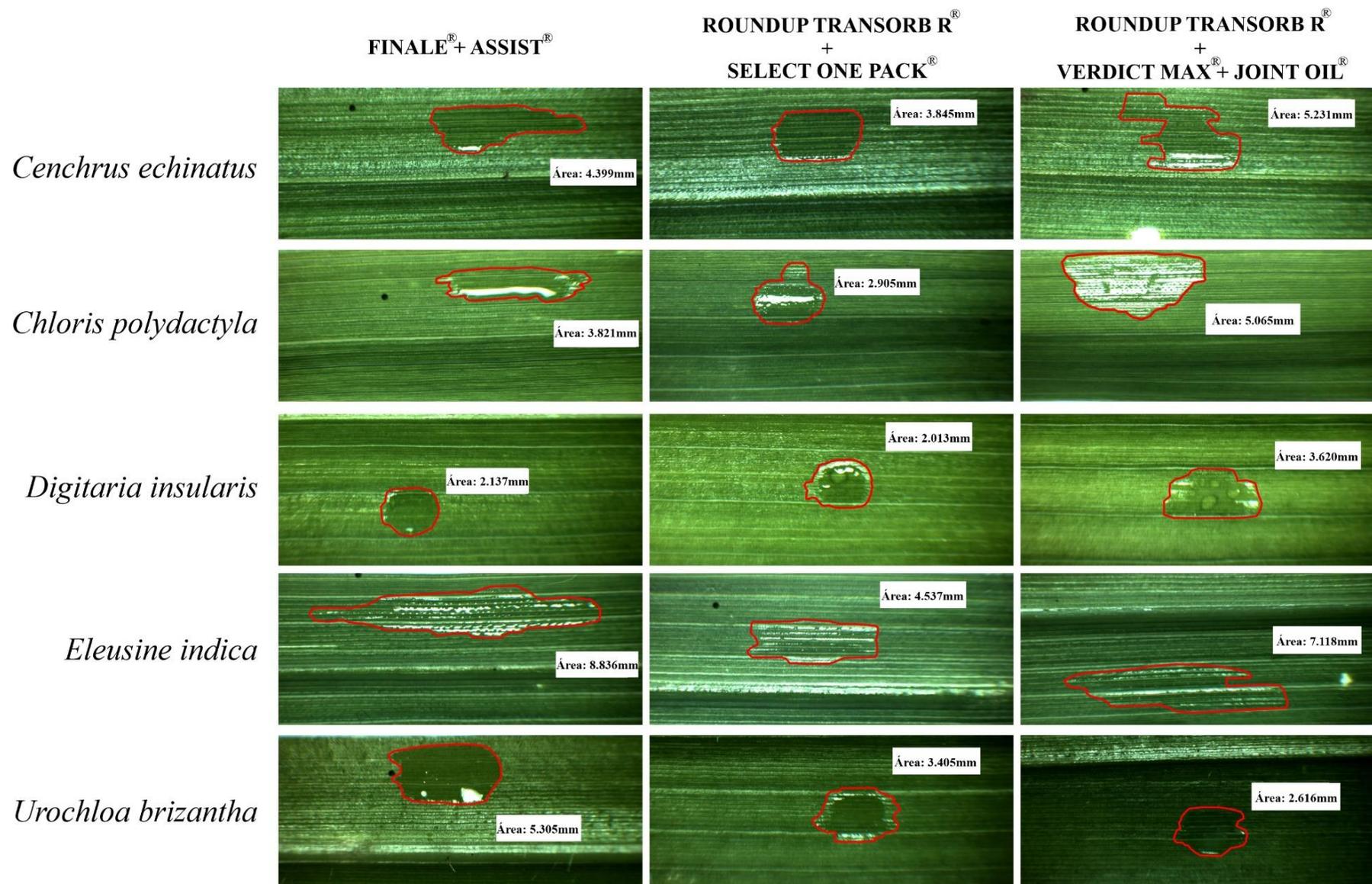


Figura 9 – Área máxima de espalhamento de gotas de herbicidas depositadas em superfícies de plantas daninhas de folhas estreitas.



Para a calda de Finale[®] + Assist[®] ocorreu maior espalhamento nas superfícies de *Urochloa brizantha* e *Chloris polydactyla* e *Eleusine indica*, esse resultado está relacionado com a redução da tensão superficial da calda. Caldas com combinação de herbicida mais adjuvante têm a função de facilitar o contato da gota de pulverização com a folha, as gotas tendem a se espalhar e cobrir maior área, aumentando a retenção e absorção do herbicida, é sabido que o efeito dos adjuvantes na ação de herbicidas não é só esse, em virtude de suas propriedades físico-químicas, os adjuvantes podem solubilizar parcialmente a cera cuticular facilitando a penetração dos compostos (SILVA SOUZA, 2021).

Na superfície da *Eleusine indica* houve maior área de espalhamento das gotas, independentemente da calda de herbicida utilizada, com médias de 8,5 mm² para a calda contendo Finale[®] + Assist[®], 5,9 mm² para Roundup Transorb R[®] + Select One Pack[®] e 8,0 mm² para Roundup Transorb R[®] + Verdict Max[®] + Joint Oil[®]. Esse fato ocorre devido as folhas de *Eleusine indica* serem glabras com tricomas, lâminas planas e lisas, que proporcionam maior área de espalhamento, fazendo com que as gotas pulverizadas espalham pela superfície facilmente (DAGOSTIN et al., 2018).

Como apresentado anteriormente na Tabela 2, a combinação Finale[®] + Assist[®] obteve a menor tensão superficial dentre as caldas testadas, portanto proporcionou maior espalhamento para a superfície de *Eleusine indica*. Santos et al. (2020) avaliaram a eficiência do herbicida Finale[®] associado ao adjuvante Assist[®] no controle de *Eleusine indica* e observaram que a combinação dos dois produtos resultou em uma redução significativa da biomassa da planta daninha, apresentando uma eficiência de controle de aproximadamente 90%. Como observado nos resultados, essa eficiência no espalhamento e no controle está relacionada com a tensão superficial que é um dos mecanismos que determinam o espalhamento da gota no alvo; no entanto, este mecanismo não pode ser utilizado isoladamente para avaliar a capacidade de umectação de um produto fitossanitário, pois o espalhamento também é influenciado pela superfície de deposição de gotas (OLIVEIRA et al., 2015).

Em relação à distribuição de gotas de herbicidas sobre folhas de *Eleusine indica*, Oliveira et al. (2021), observaram que a área máxima de espalhamento das gotas pode ser influenciada por diversos fatores, como o tamanho das gotas e a calda aplicada. Mostrou também que o uso de adjuvantes foi apontado como uma estratégia eficaz para melhorar a distribuição das gotas e aumentar a eficácia do controle com herbicidas, mostrando ser uma alternativa interessante para o manejo de *Eleusine indica*. Os herbicidas associados com adjuvante apresentam uma maior redução na tensão superficial, pois as propriedades físicas das

caldas são alteradas, o que potencializa sua capacidade de espalhamento sobre as superfícies foliares (SALVALAGGIO et al., 2018).

As superfícies de *Chloris polydactyla* e da *Eleusina indica* apresentam respostas semelhantes de espalhamento em função das caldas de pulverização, porém em magnitudes de valores diferentes; a relação da morfologia das superfícies foliares das plantas daninhas pode influenciar diretamente na interação com a calda de pulverização. Diferenças na estrutura da superfície da folha, espessura da cutícula, densidade de estômatos e composição química da cera da superfície da folha podem afetar a absorção e translocação de herbicidas.

A superfície da *Digitaria insularis* caracterizada por problemas de controle e resistência, apresentou resultados similares aos observados na literatura, sua dificuldade de obter espalhamento até mesmo com o auxílio de adjuvante na calda. Como observado para a calda Roundup Transorb R[®] + Verdict Max[®] + Joint Oil[®], que apresentou maior interação de espalhamento com a superfície com 3,3 mm². Essa dificuldade no espalhamento está relacionada com a superfície foliar, que é coberta de ceras, que está associada principalmente à forma e tamanho de células epidérmicas, dobras cuticulares e cristais de cera epicuticular das folhas do capim amargoso o que dificulta a adesão e a penetração do herbicida, levando a uma menor eficiência do controle. Segundo Khayet e Fernández (2012) o tamanho da área molhada é fortemente afetado pela rugosidade da superfície foliar, e também por ceras epicuticulares, tricomas e outras consequências estruturais.

Outro fator de dificuldade no espalhamento da gota na superfície foliar do *Digitaria insularis* está relacionada com o fato que as estruturas foliares podem mudar de acordo com a idade da planta ou tendo relação apenas com sua tolerância pela ocorrência de aplicações consecutivas (FERREIRA et al., 2022) que causam alterações na anatomia da planta, como à variação da distância de feixes vasculares, tanto quanto a quantidade de estômatos e tricomas modifica a absorbância e translocação que impõem diversos impedimentos à penetração do herbicida (BARROSO et al., 2015).

A morfologia da superfície do *Digitaria insularis* e *Urochloa brizantha* apresentam semelhanças, especificamente na espessura e composição da cutícula, o que pode afetar a deposição da gota em suas superfícies proporcionando dificuldade no espalhamento da gota para a calda Roundup Transorb R[®] + Select One Pack[®]. A calda Roundup Transorb R[®] + Verdict Max[®] + Joint Oil[®] apresentou menor espalhamento para o *Urochloa brizantha* em comparação a do *Digitaria insularis* e para a calda Finale[®] + Assist[®] o espalhamento foi maior para a superfície do *Urochloa brizantha* em comparação com a *Digitaria insularis*.

A morfologia dessas plantas daninhas apresenta uma maior quantidade de ceras, que está relacionada com o aumento da espessura da epiderme, das faces adaxial e abaxial e maior espessura da lâmina foliar (FERREIRA et al., 2022). O que causa a tolerância ao glyphosate que pode ser explicado devido à dificuldade da penetração dessa molécula e a pouca quantidade de absorção foliar de herbicidas e, por conseguinte a sua eficácia de controle estão diretamente relacionadas aos tipos de estruturas encontradas na folha e à permeabilidade das cutículas que pode variar de acordo com a sua constituição e polaridade dos componentes da cutícula (MONQUERO et al., 2004).

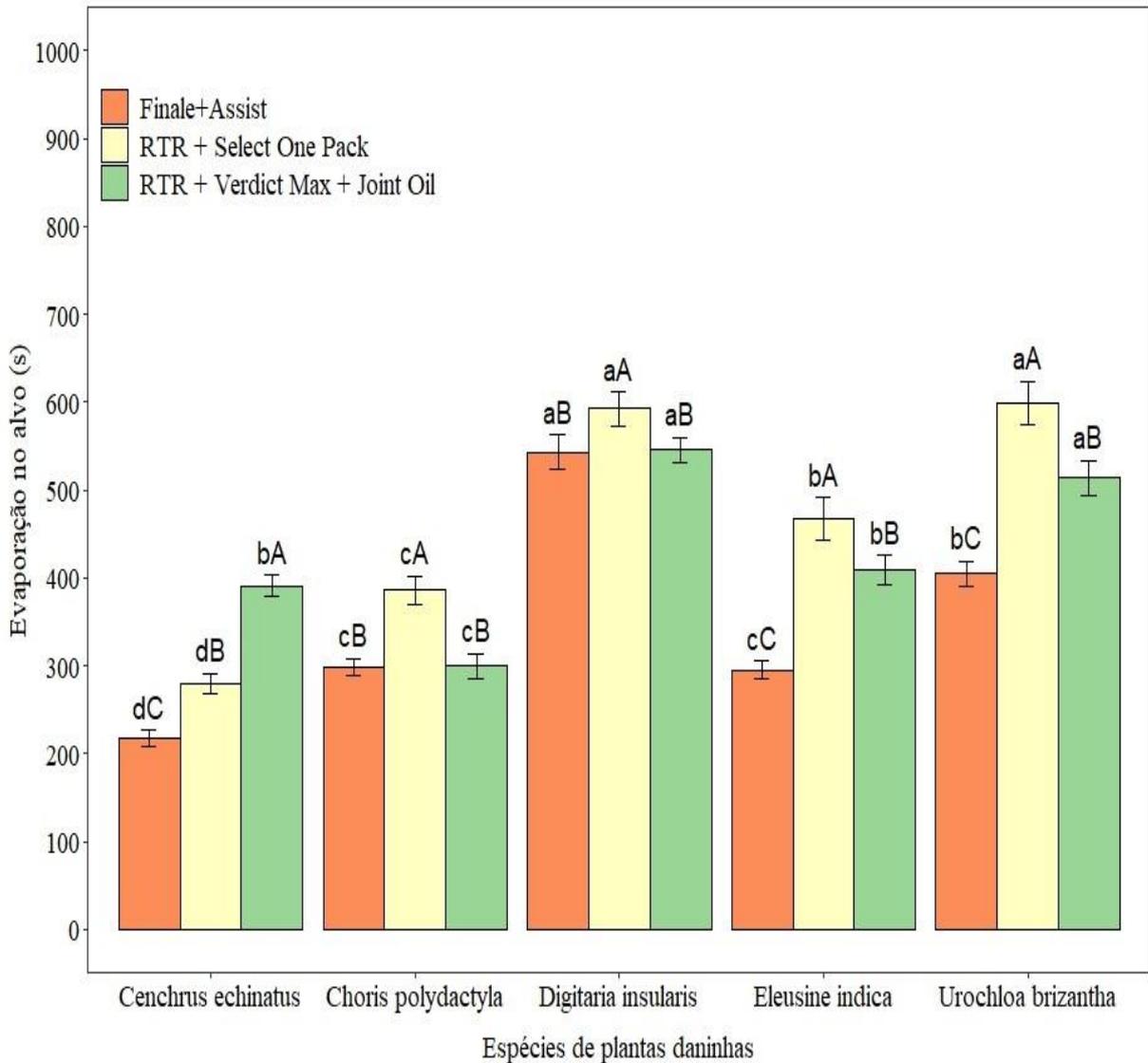
A superfície foliar de *Cenchrus echinatus* apresentou um aumento crescente na área de espalhamento para as diferentes misturas de herbicidas avaliadas, sendo que a calda de Roundup Transorb R[®] + Verdict Max[®] + Joint Oil[®] foi a que obteve a maior média. A superfície foliar dessa espécie é caracterizada por tricomas que conferem aspereza e rigidez, além de uma elevada quantidade de cera na superfície adaxial das folhas, dificultando a molhabilidade e, conseqüentemente, a absorção do herbicida.

Em resumo, a absorção de herbicida pelas folhas é impulsionada pelo gradiente de concentração entre a superfície foliar e o interior das folhas. Para ser absorvido pela folha, o herbicida deve ser capaz de se mover através de substâncias lipofílicas e hidrofílicas. A capacidade dos ácidos fracos de mudar sua polaridade depende das propriedades físico-químicas da calda, é um fator crítico no processo de absorção (CORREIA, 2021). As superfícies foliares das plantas daninhas variam amplamente e influenciam na retenção de gotas de pulverização e na penetração de herbicidas.

Desse modo, os aditivos das formulações são essenciais para aumentar a retenção, melhorar o movimento e absorção do herbicida através da cutícula na superfície foliar das plantas daninhas. O tempo de evaporação também é um fator importante a ser considerado, pois envolve múltiplos processos de perdas, o que acaba interferindo na penetração dos produtos (CAMPLI et al., 2022). A interação entre esses fatores pode influenciar significativamente na eficácia da aplicação do herbicida e deve ser cuidadosamente considerada para garantir uma aplicação eficiente e reduzir o uso desnecessário de herbicidas.

A absorção e eficiência da pulverização estão diretamente relacionadas ao espalhamento e evaporação das gotas depositadas e podem ser reduzidas se o ingrediente ativo não se espalhar uniformemente sobre o alvo (Xu et al., 2010). O tempo de evaporação de gotas nas superfícies de plantas obteve médias diferentes e esses processos são determinados tanto pelas propriedades físicas e químicas das formulações, como pelas características da superfície de deposição da gota (OLIVEIRA et al., 2015), como representado na Figura 10.

Figura 10 – Tempo de evaporação de gotas de herbicidas depositadas em superfícies de plantas daninhas de folha estreita. Médias apresentam letras minúsculas para superfície das plantas daninhas, e maiúscula para os tipos de caldas, letras iguais não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As barras de erros representam o intervalo de confiança (IC 95%). *RTR: Roundup Transorb R®.



Os resultados do tempo de evaporação das gotas demonstraram que esse parâmetro pode variar significativamente em função das caldas de herbicidas aplicadas e da superfície foliar. Foi observado que diferentes plantas daninhas apresentaram variações no tempo de evaporação, o que pode ser explicado pelas características da superfície foliar. Por exemplo, plantas com folhas mais cerosas ou pubescentes apresentaram um tempo de evaporação mais longo do que aquelas com superfícies lisas. Este fato pode ter acontecido devido ao menor espalhamento da

gota nesta superfície, expondo a gota a menor área de contato com a atmosfera (PRECIPITO et al., 2018).

As superfícies do *Cenchrus echinatus*, *Chloris polydactyla* e *Eleusina indica* foram as que apresentaram maior área molhada e menor tempo de evaporação em comparação com as superfícies do *Digitaria insularis* e *Urochloa brizantha*. Os resultados de Zhu et al. (2008), que analisaram o tempo de evaporação e o espalhamento em três superfícies foliares diferentes, indicou que o menor tempo de evaporação observado foi devido a maior área de contato da gota com a superfície foliar.

Devido às características específicas da superfície do *Digitaria insularis*, como a presença de pelos nas folhas e a elevada cerosidade, a solução herbicida pode ter dificuldades em se espalhar uniformemente sobre a planta. Isso ocorre porque o espalhamento da gota sobre a superfície é reduzido, o que pode resultar na retenção da gota por um período maior até a evaporação. Essa condição pode prejudicar a eficácia do tratamento herbicida, uma vez que é necessário que a solução se distribua uniformemente sobre a superfície da planta.

Muitos estudos foram conduzidos sobre como as gotículas evaporam na superfície das folhas. Segundo Wang et al. (2022) o tempo que uma gota permanece na folha é influenciado pelos princípios ativos, espalhamento, absorção e morfologia da folha, as plantas que respondem a essas variações podem estar sujeitas às influências relacionadas ao desempenho do herbicida e/ou interação entre planta e herbicida (CONTINERO et al., 2019; TREZZI et al., 2021).

Há várias razões pelas quais o tempo de evaporação pode ser mais longo em algumas plantas daninhas do que em outras, como diferenças na estrutura da superfície da folha, espessura da cutícula, composição química da cera da superfície da folha e densidade de estômatos (MARTIN et al., 2019). Além disso, os componentes da calda são essenciais para um bom controle, pois algumas plantas daninhas têm características fisiológicas que afetam a absorção e translocação de herbicidas, como a presença de tricomas, que podem proteger a folha da exposição direta ao produto químico, ou a presença de metabolismo secundário, que pode interferir na absorção ou na atividade do herbicida (LI et al., 2021).

5 CONCLUSÃO

O entendimento do espalhamento nas superfícies foliares de plantas daninhas de folhas estreitas é fundamental para definição de estratégias que beneficiem o sinergismo das misturas de herbicidas e maximizem a interação com as superfícies foliares.

6 REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, C. B. D., TEIXEIRA, M. M., ZOLNIER, S., CECON, P. R., SIQUEIRA, D. L. D., RODRIGUÊS, D. E., ... & RINALDI, P. C. N. (2014). Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática em alvos artificiais. **Biosci. j. (Online)**, 182-193.
- ANTHIMIDOU, E., NTOANIDOU, S., MADEISIS, P., & ELEFTHEROHORINOS, I. Mechanisms of *Lolium rigidum* multiple resistance to ALS-and ACCase-inhibiting herbicides and their impact on plant fitness. **Pesticide biochemistry and physiology**, v. 164, p. 65-72, 2020.
- ANTUNIASSI, U. R. Conceitos básicos da tecnologia de aplicação de defensivos para a cultura da soja. **Boletim de pesquisa de Soja**, v. 13, p. 299-317, 2009.
- ANTUNIASSI, U. R.; BAIIO, F. H. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. p. 173-212.
- APPAH, S., JIA, W., OU, M., WANG, P., & ASANTE, E. A. Analysis of potential impaction and phytotoxicity of surfactant-plant surface interaction in pesticide application. **Crop protection**, v. 127, p. 104961, 2020.
- APPAH, S., ZHOU, H., WANG, P., OU, M., & JIA, W. Charged monosized droplet behaviour and wetting ability on hydrophobic leaf surfaces depending on surfactant-pesticide concentrate formulation. **Journal of Electrostatics**, v. 100, p. 103356, 2019.
- ARAND, K., ASMUS, E., POPP, C., SCHNEIDER, D., & RIEDERER, M. The Mode of Action of Adjuvants—Relevance of Physicochemical Properties for Effects on the Foliar Application, Cuticular Permeability, and Greenhouse Performance of Pinoxaden. **Journal of agricultural and food chemistry**, 66(23), 5770-5777. 2018.
- ARAÚJO, D.; RAETANO, C. G. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de Aplicação para Culturas Anuais**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2011. p. 35-36.
- BAIO, F. H. R.; GABRIEL, R. R. F.; CAMOLESE, H. S. Alteração das propriedades físico-químicas na aplicação contendo adjuvantes. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, 9, 151-161, 2015.
- BALBINOT, A. A., SANTOS, J. C. F. D., DEBIASI, H., & YOKOYAMA, A. H. Contribution of roots and shoots of *Brachiaria* species to soybean performance in succession. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 52, 592-598, 2017.
- BARROSO, A. A. M. **Caracterização genética e foliar de capim-amargoso resistente ao herbicida glyphosate e eficácia de seu controle com associação de herbicidas**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- BARROSO, A. A. M., GALEANO, E., ALBRECHT, A. J. P., DOS REIS, F. C., & VICTORIA FILHO, R. Does sourgrass leaf anatomy influence glyphosate resistance?. **Comunicata Scientiae**, 6(4), 445-453, 2015.

BARTHLOTT, W., NEINHUIS, C., CUTLER, D., DITSCH, F., MEUSEL, I., THEISEN, I., & WILHELMI, H. Classification and terminology of plant epicuticular waxes. **Botanical journal of the Linnean society**, 126(3), 237-260, 1998.

BEATTIE, G. A., & MARCELL, L. M. Effect of alterations in cuticular wax biosynthesis on the physicochemical properties and topography of maize leaf surfaces. **Plant, Cell & Environment**, 25(1), 1-16, 2002.

BERNARD, S. M., & HABASH, D. Z. The importance of cytosolic glutamine synthetase in nitrogen assimilation and recycling. **New Phytologist**, 182(3), 608-620, 2009.

BETHKE, R. K., MOLIN, W. T., SPRAGUE, C., & PENNER, D. Evaluation of the interaction between glyphosate and glufosinate. **Weed Science**, 61(1), 41-47, 2013.

BOLLER, W.; FORCELINI, L. A.; HOFFMANN, L. L. Tecnologia de aplicação de fungicidas – Parte I. In: LUZ, W. C.; FERNANDES J. M.; PRESTES, A. M.; PICININI, E. C. (Org.). **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 15, p. 243-276, 2007.

Burns, E. E. Genetic and Physiological Characterization and Ecological Management of Non-Target Site Resistance in Multiple Herbicide Resistant Avena fatua L. PhD diss., **Montana State University**, 2017.

BUSI, R., GOGGIN, D.E., HEAP, I.M., HORAK, M.J., JUGULAM, M., MASTERS, R.A. Weed resistance to synthetic auxin herbicides. **Pest Management Sci**, v. 74, p. 2265–2276, 2018.

CARVALHO, L. B.; GUZZO, C. D. Adensamento da beterraba no manejo de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 73-82, 2008.

CAVALIERI, J. D., SANTOS, S. A. D., CARBONARI, C. A., & RAETANO, C. G. Impact of glyphosate formulations and adjuvants: effects on leaf interaction, metabolism, and control of sourgrass. **Ciência Rural**, 52, 2022.

CHEN, J., HUANG, H., WEI, S., CUI, H., LI, X., & ZHANG, C. Glyphosate resistance in Eleusine indica: EPSPS overexpression and P106A mutation evolved in the same individuals. **Pesticide biochemistry and Physiology**, 164, 203-208, 2020.

CHEN, Y., XIA, W., & XIE, G. Contact angle and induction time of air bubble on flat coal surface of different roughness. **Fuel**, v. 222, p. 35-41, 2018.

COBB, A. H. **Herbicides and plant physiology**. John Wiley & Sons, 2022.

CONTINERO, C. F. et al. Effects of adjuvants and spray nozzles on the performance of glyphosate on the control of Conyza spp. and Eleusine indica. **Planta Daninha**, v. 37, p. 1-11, 2019.

CORREIA, Núbia Maria. Herbicidas. Proteção química da lavoura. **Embrapa Cerrados**. Belo Horizonte, v. 42, n. 315, p. 48-58, 2021.

CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciência**, 34, 655-659, 2009.

CUNHA, J. P. A. R. Da.; ALVES, G. S.; MARQUES, R. S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 261-270, 2017.

DA SILVA SOUZA, Z. (2021). Manejo e controle de plantas daninhas em pomares de macieira. **Boletim Técnico**, 202.

DA SILVA, A. G., DE ASSIS, R. L., DE OLIVEIRA, C. A. A., FERREIRA, C. J. B., TEIXEIRA, I. R., ALMEIDA, K. D. L., & DO CARMO, E. L. Variabilidade dos atributos físicos do solo e dinâmica da palhada em sistema integração lavoura-pecuária no cerrado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 18(3), 429-440, 2019.

DAGOSTIN, J. L. A. et al. Perfis de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) resistentes a herbicidas inibidores da ACCase: aspectos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 36, 2018.

DAMATO, T. C., CARRASCO, L. D. M., RIBEIRO, A. M. C., LUIZ, R. V., GODOY, R., PETRI, D. F. S. The interactions between surfactants and the epicuticular wax on soybean or weed leaves: Maximal crop protection with minimal wax solubilization. **Crop Protection**, v. 91, p. 57-65, 2016.

DAN, H. A., DAN, L. G. M., BARROSO, A. L. L., OLIVEIRA JR, R. S., ALONSO, D. G., & FINOTTI, T. R. Influência do estágio de desenvolvimento de (*Cenchrus echinatus* L.) na supressão imposta por atrazine. **Planta Daninha**, 29, 179-184, 2011.

DAYAN, F. E., & DUKE, S. O. Discovery for new herbicide sites of action by quantification of plant primary metabolite and enzyme pools. **Engineering**, 6(5), 509-514, 2020.

DE AZEVEDO, F. R., & FREIRE, F. (2006). Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. DE CAMPLI, C. M., DE OLIVEIRA, R. B., TORRES, J. P., GANDOLFO, M. A., DA SILVA, A. F., & LOPES, V. Espalhamento e evaporação de produtos fitossanitários em tomateiro. Wetting and evaporation of pesticide on tomato leaves. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 24722-24736, 2022.

DÉLYE, C., JASIENIUK, M., & LE CORRE, V. Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. **Trends in Genetics**, 29(11), 649-658, 2013.

DUKE, S. O. The history and current status of glyphosate. **Pest management science**, 74(5), 1027-1034, 2018.

DUNCAN, C. Factors affecting herbicide performance. **Herbicide Information**. Techline Invasive Plant News, 2018.

EDWARDS, E. J., & STILL, C. J. Climate, phylogeny and the ecological distribution of C4 grasses. **Ecology letters**, 11(3), 266-276, 2008.

FERREIRA, A. C. D. B., LAMAS, F. M., CARVALHO, M. D. C. S., SALTON, J. C., & SUASSUNA, N. D. Produção de biomassa por cultivos de cobertura do solo e produtividade do algodoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 45, 546-553, 2010.

FERREIRA, E. A., PROCÓPIO, S. O., SILVA, E. A. M., SILVA, A. A., & RUFINO, R. J. N. Estudos anatômicos de folhas de espécies de plantas daninhas de grande ocorrência no Brasil: IV-Amaranthus deflexus, Amaranthus spinosus, Alternanthera tenella e Euphorbia heterophylla. **Planta daninha**, 21, 263-271, 2003.

FERREIRA, S. D., BARBOSA, J. D. A., SILVA, S. M., & DA COSTA, N. V. Diferenças estruturais foliares entre biótipos resistente e suscetível ao glyphosate de (*Digitaria insularis* (L.) Fedde). (2022).

FRANCI, J., LAM, K. W., CHUAH, T. S., & SAN CHA, T. Genetic diversity and in silico evidence of target-site mutation in the EPSPS gene in endowing glyphosate resistance in (*Eleusine indica* (L.) from Malaysia. **Pesticide biochemistry and physiology**, 165, 104556, 2020.

GAINES, T.A., DUKE, S.O., MORRAN, S., RIGON, C.A., TRANEL, P.J., KÜPPER, A. and Dayan, F.E, Mechanisms of evolved herbicide resistance. **Journal of Biological Chemistry**, 295(30), pp.10307-10330. 2020.

GALON, L., DA SILVA, M. R., DA SILVA, A. F., MENEGAT, A. D., PAWELKIEWICZ, R., BRUNETTO, L., & ROSSETTO, E. R. D. O. WEED CONTROL IN “LL” MAIZE TOLERANT TO GLUFOSINATE-AMMONIUM. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 19, 17, 2020.

GALON, L., DA SILVA, M. R., DE OLIVEIRA ROSSETTO, E. R., DA SILVA, A. F., ASPIAZÚ, I., FAVRETTO, E. L., & PERIN, G. F. Interaction between pesticides applied alone or in mixtures in corn. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, 56(11), 986-993, 2021.

GASQUEZ, J. Genetics of herbicide resistance within weeds. Factors of evolution, inheritance, and fitness. **Weed and crop resistance to herbicides**, 181-189,1997.

GAZZIERO, D. L. P., DE OLIVEIRA, R. B., OVEJERO, R., BARBOSA, H., & PRECIPITO, L. M. B. (2021). Manual técnico para subsidiar a mistura em tanque de agrotóxicos e afins.

GIMENES, M. J., ZHU, H., RAETANO, C. G., & OLIVEIRA, R. B. Dispersion and evaporation of droplets amended with adjuvants on soybeans. **Crop Protection**, v. 44, p. 84-90, 2013.

GRIESANG, F., & DA COSTA FERREIRA, M. Tecnologia de aplicação para herbicidas. **Mato logia**, 428.

HARTZLER, B. **Absorption of soil-applied herbicides**. Integrated Crop Management. Iowa State University – Extension and Outreach. (2018).

HAZEN, J. L. Adjuvants terminology, classification, and chemistry. **Weed technology**, 14(4), 773-784. 2000.

HAZRA, D. K., KARMAKAR, R., POI, R., BHATTACHARYA, S., & MONDAL, S. Recent advances in pesticide formulations for eco-friendly and sustainable vegetable pest management: A review. **Archives of Agriculture and Environmental Science**, 2(3), 232-237, 2017.

HESS, F. D. Herbicide absorption and translocation and their relationship to plant tolerances and susceptibility. In: **Weed physiology**. CRC Press, 2018. p. 191-214.

HESS, F.D.; FOY, C. L. Interaction of surfactants with plant cuticles. *Weed Technology*, Champaign, v. 14, p. 807-813, 2000.

HOCK, W. K. **Horticultural spray adjuvantes**. Pennsylvania: Pennsylvania State University, 2004. p. 1-4. (Agrichemical fact Sheet 11).

HUANG, W., ZHANG, L., COLUMBUS, J. T., HU, Y., ZHAO, Y., TANG, L., & MA, H. A well-supported nuclear phylogeny of Poaceae and implications for the evolution of C4 photosynthesis. **Molecular plant**, 15(4), 755-777, 2022.

JANUSZKIEWICZ, K., MROZEK-NIEĆKO, A., & RÓŻAŃSKI, J. Effect of surfactants and leaf surface morphology on the evaporation time and coverage area of ZnIDHA droplets. **Plant and Soil**, 434, 93-105, 2019.

JOURNAUX, L., SIMON, J. C., DESTAIN, M. F., COINTAULT, F., MITERAN, J., & PIRON, A. Plant leaf roughness analysis by texture classification with generalized Fourier descriptors in a dimensionality reduction context. **Precision Agriculture**, 12, 345-360, 2011.

KHAYET, M., & FERNÁNDEZ, V. Estimation of the solubility parameters of model plant surfaces and agrochemicals: a valuable tool for understanding plant surface interactions. **Theoretical biology and medical modelling**, 9, 1-21, 2012.

KISSMANN, K. G. **Adjuvantes para caldas de defensivos agrícolas**. BASF: São Paulo, 1996. 45 p.

KISSMANN, K. G., & GROTH, D. Plantas infestantes e Nocivas (Vol. I). **BASF Brasileira SA: São Paulo**. (1997).

KNEZEVIC, S. Z., DATTA, A., SCOTT, J., KLEIN, R. N., & GOLUS, J. Problem weed control in glyphosate-resistant soybean with glyphosate tank mixes and soil-applied herbicides. **Weed Technology**, 23(4), 507-512, 2009.

LECAS, M.; BRILLOUET, J. M. Cell wall composition of grape berry skins. **Phytochemistry**, New York, v. 35, n. 5, p. 1241-1243, Nov. 1994.

LI, H., TRAVLOS, I., QI, L., KANATAS, P., WANG, P. Optimization of herbicide use: Study on spreading and evaporation characteristics of glyphosate-organic silicone mixture droplets on weed leaves. **Agronomy**, v. 9, n. 9, p. 547, 2019.

LI, J., ZHANG, Z., LEI, Q., LU, B., JIN, C., LIU, X., ... & BAI, L. Multiple herbicide resistance in (*Eleusine indica* (L.) from sugarcane fields in China. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v 182, p 105040, 2022.

LI, M., et al. Recent Advances in the Mechanisms of Herbicide Resistance in Weeds: Implications for Herbicide Development and Resistance Management. **Trends in Plant Science**, v. 26, n. 11, p. 1127-1140, 2021.

LORENZI, H. **Plantas Daninhas do Brasil**. 4. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum. 2008.

MALDONADO-REINA, A. J., LÓPEZ-RUIZ, R., FRENICH, A. G., ARREBOLA, F. J., & ROMERO-GONZÁLEZ, R. Co-formulants in plant protection products: An analytical approach to their determination by gas chromatography–high resolution mass accuracy spectrometry. **Talanta**, v. 234, p. 122641, 2021.

Martin, A. R., et al. Weed Leaf Surface Traits: Understanding the Biophysical and Biochemical Determinants of Weed-herbicide Interactions. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1-12, 2019.

MARTIN, A. R., et al. Weed Leaf Surface Traits: Understanding the Biophysical and Biochemical Determinants of Weed-herbicide Interactions. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1-12, 2019.

MASSINON, M., BOUKHALFA, H., & LEBEAU, F. The effect of surface orientation on spray retention. **Precision agriculture**, v. 15, p. 241-254, 2014.

MASSINON, M., DUMONT, B., DE COCK, N., SALAH, S. O. T., & LEBEAU, F. Study of retention variability on an early growth stage herbaceous plant using a 3D virtual spraying model. **Crop Protection**, v. 78, p. 63-71, 2015.

MELO, T. S.; MAKINO, P. A.; CECCON, G. Weed diversity in corn with different plant arrangement patterns grown alone and intercropped with palisade grass. **Planta daninha**, v. 37, 2019.

MENDES, K. F., & DA SILVA, A. A. **Plantas daninhas: biologia e manejo** (Vol. 1). Oficina de Textos. (2022).

MENDONÇA, C.G.; RAETANO, C.G.; MENDONÇA, C.G. Tensão superficial estática de soluções aquosas com óleos minerais e vegetais utilizados na agricultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.esp., p.16-23, 2007.

MONQUERO, P. A., PENHA, A. S., ORZARI, I., & HIRATA, A. C. S. (2011). Seletividade de herbicidas em mudas das espécies nativas *Acacia polyphylla*, *Enterolobium contortisiliquum* (Fabaceae), *Ceiba speciosa* e *Luehea divaricata* (Malvaceae). **Planta daninha**, 29, 159-168. Taiz, L. & Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*, 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

MOREIRA, H. D. C., & BRAGANÇA, H. B. N. Manual de identificação de plantas infestantes. **FMC Agricultural Products, Campinas, 1017p**, 2011.

NAIRN, J. J., FORSTER, W. A., & VAN LEEUWEN, R. M. Effect of solution and leaf surface polarity on droplet spread area and contact angle. **Pest Management Science**, v. 72, n. 3, p. 551-557, 2016.

NAKKA, S., JUGULAM, M., PETERSON, D., & ASIF, M. Herbicide resistance: Development of wheat production systems and current status of resistant weeds in wheat cropping systems. **The Crop Journal**, v. 7, n. 6, p. 750-760, 2019.

NETO, I. C. G., CÔRREA, F. R., DA SILVA, N. F., DA SILVA CAVALCANTE, W. S., RIBEIRO, D. F., & RODRIGUES, E. Eficiência de diferentes herbicidas na dessecação de área em pousio. **Brazilian Journal of Science**, v. 2, n. 4, p. 41-53, 2023.

NOGUEIRA, D. C., & FIGUEIREDO, M. M. (2021). Orientações Básicas à mistura de herbicidas em tanque.

OLIVEIRA JR, R. D., CONSTANTIN, J., & INOUE, M. H. (2011). Biologia e manejo de plantas daninhas. **Curitiba, PR: Omnipax**, 348.

OLIVEIRA, O. G., LOPES, P. R., RAETANO, C. G., LIMA, R. C., & PRADO, E. P. Influence of droplet size on spray deposition and weed control using glyphosate. **Engenharia Agrícola**, v. 41, p. 449-457, 2021.

OLIVEIRA, R. B. D. Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas. 2011.

OLIVEIRA, R. D., DARIO, G., ALVES, K. A., & GANDOLFO, M. A. Influence of the glyphosate formulations on wettability and evaporation time of droplets on different targets. **Planta daninha**, v. 33, p. 599-606, 2015.

OLIVEIRA, R.B. de; GAZZIERO, D.L.P.; TAVARES, A.A.C.; OLIVEIRA, J.V.; BRESSAN, M.; BARROSO, A.A.M. **Formulações e misturas de herbicidas em tanque**. In: BARROSO, A.A.M.; MURATA, A.T. (Org.). Matologia: estudos sobre plantas daninhas. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021. p. 205-252.

PACHECO, R. D. B., & MARINIS, G. D. (1984). Ciclo de vida, estruturas reprodutivas e dispersão de populações experimentais de capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.). **Planta Daninha**, v. 7, p. 13-21, 1984.

PEIRCE, C. A. E., MCBEATH, T. M., FERNÁNDEZ, V., & MCLAUGHLIN, M. J. Wheat leaf properties affecting the absorption and subsequent translocation of foliar-applied phosphoric acid fertiliser. **Plant and soil**, v. 384, p. 37-51, 2014.

PEREIRA, M. R. R., SOUZA, G. S. F. D., SILVA, J. I. C. D., & MARTINS, D. accase-inhibitor herbicides in plants of *Cenchrus echinatus* in water stress. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 1, p. 96-106, 2015.

POWELL, J. R. et al. Effect of glyphosate on the tripartite symbiosis formed by *Glomus intraradices*, *Bradyrhizobium japonicum*, and genetically modified soybean. **Applied soil ecology**, v. 41, n. 1, p. 128-136, 2009.

PRECIPITO, L., DARIO, G., OLIVEIRA, J. V., & OLIVEIRA, R. B. Evaporation and wettability of fungicide spray, with or without adjuvant, on leaves of vegetables. **Horticultura Brasileira**, v. 36, p. 320-324, 2018.

PRESTON, C. PRESTON, Christopher et al. Herbicide mode of action and herbicide resistance. **Australian weed management systems**, p. 209-226, 2000.

PROCÓPIO, S. O., FERREIRA, E. A., SILVA, E. A. M., SILVA, A. A., RUFINO, R. J. N., & SANTOS, J. B. Estudos anatômicos de folhas de espécies de plantas daninhas de grande ocorrência no Brasil: III-Galinsoga parviflora, Crotalaria incana, Conyza bonariensis e Ipomoea cairica. **Planta daninha**, v. 21, p. 1-9, 2003.

QUEIROZ, A. A., MARTINS, J. A. S., & CUNHA, J. P. A. R. Adjuvantes e qualidade da água na aplicação de agrotóxicos. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 4, p. 8-19, 2008.

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RAKES, M., GRÜTZMACHER, A. D., PAZINI, J. B., PASINI, R. A., & SCHAEGLER, C. E. RAKES, M. et al. Physicochemical compatibility of agrochemical mixtures in spray tanks for paddy field rice crops. **Planta Daninha**, v. 35, 2018.

RAMSEY, R. J. L.; STEPHENSON, G. R.; HALL, J. C. Effect of humectants on the uptake and efficacy of glufosinate in wild oat (*Avena fatua*) plants and isolated cuticles under dry conditions. **Weed Science**, Champaign, v. 54, p. 205-211, Mar-Apr 2006.

RANA, S. S.; RANA, M. C. Advances in weed management. **Department of Agronomy, College of Agriculture, CSK Himachal Pradesh Krishi Vishvavidyalaya, Palampur**, v. 183, 2015.

ROMAN, E. S., BECKIE, H., VARGAS, L., HALL, L., RIZZARDI, M. A., & WOLF, T. M. **Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação**. Passo Fundo: Berthier, 2007.

SALVALAGGIO, A. C., DA COSTA, N. V., CAZZO, V. N., JUNIOR, E. C., & ECKERT, A. F. Espalhamento e tensão superficial de gotas de soluções com herbicidas e adjuvantes em folhas de *Digitaria insularis*. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 3, p. 60-64, 2018.

SANTOS, E. L. et al. (2020). Effect of herbicide and adjuvant doses on the control of *Eleusine indica* in maize crop. **Australian Journal of Crop Science**, 14(5), 920-926.

SANTOS, M. V., FERREIRA, F. A., FREITAS, F. C. L., TUFFI SANTOS, L. D., VIANA, J. M., ROCHA, D. C. C., & FIALHO, C. M. T. Controle de *Urochloa brizantha*, com uso do glyphosate, na formação de pastagem de Tifton 85 (*Cynodon* spp.). **Planta Daninha**, v. 25, p. 149-155, 2007.

SCHLÜTER, U., & WEBER, A. P. Regulation and evolution of C4 photosynthesis. **Annual review of plant biology**, v. 71, p. 183-215, 2020.

SHIRATSUCHI, L. S., & FONTES, J. R. A. EMBRAPA–SHIRATSUCHI, L. S. Tecnologia de Aplicação de Herbicidas, Embrapa Cerrados. **Caderno técnico**, n. 78, 2002.

STOUGAARD, R.M. Adjuvant combinations with quizalofop for wild oat (*Avena fatua*) control in pepper (Mentha piperita). **Weed Technology**, Champaign, v. 11, p. 45-50, 1997.

TAKANO, H. K., BEFFA, R., PRESTON, C., WESTRA, P., & DAYAN, F. E. Reactive oxygen species trigger the fast action of glufosinate. **Planta**, v. 249, p. 1837-1849, 2019.

TANG, H., & CHENG, X. Measurement of liquid surface tension by fitting the lying droplet profile. **Measurement**, v. 188, p. 110379, 2022.

TOFOLI, J.G.; MELO, P.C.T.; DOMINGUES, R.J. Ação protetora, residual, curativa e antiesporulante de fungicidas no controle da requeima e da pinta preta da batata em condições controladas. **Revista Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.79, n.2, p.209-221, 2012.

TREZZI, M. M. et al. Comparative performance of adjuvants in spray mixtures with glyphosate applied to *Urochloa brizantha* cv. Marandu. **Planta Daninha**, v. 39, p. 1-9, 2021.

TU, M.; RANDALL, J. M. Adjuvants. In: TU, M. et al. **Weed control methods handbook the nature conservancy**. Davis: TNC, 2003. p. 1-24.

VÁZQUEZ-GARCIA, J. G., ALCANTARA-DE LA CRUZ, R., ROJANO-DELGADO, A. M., PALMA-BAUTISTA, C., DE PORTUGAL VASCONCELOS, J. M., & DE PRADO, R. Multiple herbicide resistance evolution: the case of *Eleusine indica* in Brazil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 69, n. 4, p. 1197-1205, 2021.

VILELA, C.M. **Evaporação de gotas de caldas contendo fungicidas e adjuvantes depositadas em superfície**. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

WAGNER, P. et al. Quantitative assessment to the structural basis of water repellency in natural and technical surfaces. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54. n. 385, p. 1295-1303, 2003.

WANG, X., et al. Understanding the mechanisms of herbicide spray retention on leaf surface: a review. **Pest Management Science**, v. 78, n. 1, p. 46-60, 2022.

XU, L. Y., ZHU, H. P., OZKAN, H. E., BAGLEY, W. E., DERKSEN, R. C., & KRAUSE, C. R. Adjuvant effects on evaporation time and wetted area of droplets on waxy leaves. **Transactions of the ASABE**, v. 53, n. 1, p. 13-20, 2010.

XU, L., ZHU, H., OZKAN, H. E., & THISTLE, H. W. Evaporation rate and development of wetted area of water droplets with and without surfactant at different locations on waxy leaf surfaces. **Biosystems Engineering**, v. 106, n. 1, p. 58-67, 2010.

YU, Y. et al. Evaporation and deposition coverage area of droplets containing insecticides and spray additives on hydrophilic, hydrophobic, and crabapple leaf surfaces. **Transactions of the ASABE**, 52 (1), 2009. 39-49.

ZHANG, J., ZHOU, T., ZENG, J., YIN, X., LAN, Y., & WEN, S. Effects of temperature and humidity on the contact angle of pesticide droplets on rice leaf surfaces. **Journal of Pesticide Science**, v. 47, n. 2, p. 59-68, 2022.

ZHAO, X., GAO, Y., ZHANG, C., ZHU, Y., LEI, J., MA, Y., & DU, F. Wettability of ionic surfactants SDS and DTAB on wheat (*Triticum aestivum*) leaf surfaces. **Journal of Dispersion Science and Technology**, v. 39, n. 12, p. 1820-1828, 2018

ZHU, H. et al. Influence of spray additives on droplet evaporation and residual patterns on wax and wax-free surfaces. **ASABE** Paper No. 083752, St. Joseph, June 2008.

ZHU, H., YU, Y., OZKAN, H. E., DERKSEN, R. C., & KRAUSE, C. R. Influence of spray additives on droplet evaporation and residual patterns on wax and wax-free surfaces. In: **2008 Providence, Rhode Island, June 29–July 2, 2008**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2008. p. 1.