

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
AGRONOMIA

MARIA CLARA SABINO GOMES SANTOS

**EFICIÊNCIA DE MESOTRIONA ASSOCIADO A INIBIDORES DO
FOTOSSISTEMA II**

Rio Largo, 2026

MARIA CLARA SABINO GOMES SANTOS

**EFICIÊNCIA DE MESOTRIONA ASSOCIADO A INIBIDORES DO
FOTOSSISTEMA II**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Agronomia da Universidade Federal
de Alagoas, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharelado em Agronomia

Orientador: Dr. Renan Cantalice de Souza

Rio Largo, 2026

Catlogação na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 – 1512

S237e Santos, Maria Clara Sabino Gomes.

 Eficiência de mesotriona associado a inibidores do fotossistema II. / Maria Clara Sabino Gomes Santos. – 2026.

33 f.: il.

 Orientador: Renan Cantalice de Souza.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Graduação em Agronomia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2026.

 Inclui bibliografia

1. D. insularis. 2. Inibidores da HPPD. 3. Sinergismo. 4. Manejo de plantas daninhas. I. Título.

CDU: 632.9

Folha de Aprovação

MARIA CLARA SABINO GOMES SANTOS

Eficiência de mesotriona associado a inibidores do fotossistema II

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
banca examinadora do curso de Agronomia da
Universidade Federal de Alagoas e aprovada em
Agronomia



Documento assinado digitalmente
RENAN CANTALICE DE SOUZA
Data: 28/05/2026 13:44:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(ORIENTADOR- Dr. Renan Cantalice de Souza, CECA/UFAL)

Banca examinadora:



Documento assinado digitalmente
ANA ROSA DE OLIVEIRA FARIAS
Data: 27/05/2026 10:29:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Examinador Externo – Ma. Ana Rosa de Oliveira Farias, UFAL)



Documento assinado digitalmente
GUILHERME BASTOS LYRA
Data: 28/05/2026 13:50:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Examinado Interno – Dr, Guilherme Bastos Lyra, UFAL)

À minha mãe, Rosana Maria Tenoura Sabino dos Santos, pelo amor, apoio e incentivo em todos os momentos da minha vida.

Ao meu avô, José Correia dos Santos, e à minha avó, Josefa Gomes dos Santos, por todo carinho, ensinamentos e por serem minha base e inspiração.

A vocês, que sempre acreditaram em mim, minha eterna gratidão.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder força e determinação ao longo dessa caminhada.

À minha mãe, Rosana Maria Tenoura Sabino dos Santos, por todo amor, apoio incondicional e por nunca medir esforços para que eu chegasse até aqui.

Aos meus avós, José Correia dos Santos e Josefa Gomes dos Santos, pelo carinho, pelos ensinamentos e por sempre torcerem por mim.

Ao meu orientador, Renan Cantalice, pela orientação, paciência e pelos conhecimentos compartilhados ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

À Daniele Dias, pelo apoio, disponibilidade e contribuição fundamental na realização deste trabalho.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização desta etapa, meu sincero agradecimento.

"Uma planta daninha é simplesmente uma planta cujas virtudes ainda não foram descobertas, mas cuja competição o campo não pode ignorar."

(Harri Lorenzi)

RESUMO

O Capim Amargoso (*Digitaria insularis*) é uma das principais plantas daninhas em sistemas agrícolas devido à sua alta capacidade de disseminação e persistência via rizomas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficácia do herbicida Mesotriona, isolado e em associação com Diuron, no controle de biomassa e supressão do crescimento de *D. insularis*. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Campus em Engenharias e Ciências Agrárias, utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado. Os tratamentos consistiram em doses crescentes de Mesotriona (0, 1, 2, 4 e 8 L/ha) e associações fixas com diuron (2 L/ha) aplicando em pós-emergência tardia. Foram avaliadas a porcentagem de controle de massa seca (MS) e massa úmida (MU) aos 21 dias após a aplicação (DAA), sendo analisados com o teste turkey. Os resultados demonstraram uma resposta dose-dependente, com a dose de 8 L/ha de Calipen atingindo o maior nível de controle (58,75% de MS). A associação com diuron mostrou-se sinérgica, permitindo que doses menores de Mesotriona (1 L/ha + diuron) equivalassem estatisticamente a doses isoladas superiores. Conclui-se que o Mesotriona é uma ferramenta sensível no manejo, especialmente quando associado ao diuron, promovendo um acentuado amarelamento e redução significativa da biomassa.

Palavras-chave: *D. insularis*, Inibidores da HPPD, Sinergismo, Manejo de plantas daninhas.

ABSTRACT

Sourgrass (*Digitaria insularis*) is one of the primary weed species in agricultural systems due to its high dispersal capacity and persistence through rhizomes. This study aimed to evaluate the efficacy of the herbicide mesotrione, both alone and in association with diuron, on the biomass control and growth suppression of *D. insularis*. The experiment was conducted at the Campus of Engineering and Agricultural Sciences in a greenhouse, using a completely randomized design. Treatments consisted of increasing doses of mesotrione (0, 1, 2, 4, and 8 L/ha) and fixed associations with diuron (2 L/ha), applied in late post-emergence. The percentages of dry mass (DM) and fresh mass (FM) control were evaluated 21 days after application (DAA). Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and means were compared using Tukey's test. The results demonstrated a dose-dependent response, with the 8 L/ha dose of mesotrione alone reaching the highest control level (58.75% for DM). The association with diuron showed synergistic effects, allowing lower doses of mesotrione (1 L/ha + diuron) to be statistically equivalent to higher isolated doses. It is concluded that mesotrione, particularly when associated with diuron, is an effective tool for sourgrass management, promoting intense chlorosis and significant biomass reduction.

Keywords: *D. insularis*, HPPD inhibitors, Synergism, Weed management.

SUMÁRIO

Banca examinadora:	4
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVO	14
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1 Biologia e Estratégias de Sobrevivência de <i>Digitaria insularis</i>	14
3.2 Influência do estágio fenológico na eficiência do controle químico	15
3.3 O Impacto do Estádio Fenológico na Absorção e Translocação	16
3.4 Barreiras Morfológicas e o Fenômeno da Rebrotas.....	17
3.5 Integração de Métodos para o Manejo de Touceiras	19
3.6 A Mesotriona e o Manejo Inteligente do Capim Amargoso	20
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 Localização e Condições Experimentais	23
4.2 Material Vegetal e Instalação do Experimento	23
4.3 Tratamentos e Tecnologia de Aplicação	24
4.4 Avaliações e Coleta de Dados	25
4.5 Processamento e Análise Estatística	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1 Eficácia do Calipen e a Resposta à Dose-Dependente	27
5.2 Sinergia e Efeito Complementar da Associação com Diuron.....	30
5.3 Análise Digital e a Dinâmica da Cobertura Verde.....	31
5.4 Viabilidade dos Propágulos e Controle Sistêmico.....	32
6. CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS	33

1. INTRODUÇÃO

A produtividade das principais culturas agrícolas brasileiras depende diretamente da eficiência no manejo das plantas daninhas. No entanto, os prejuízos causados por essas espécies vão muito além da simples competição por água, luz e nutrientes (KISSMANN; GROTH, 1997). Como destaca Lorenzi (2014), elas também podem exercer efeitos alelopáticos e atuar como hospedeiras de pragas e patógenos, ampliando os impactos negativos sobre o sistema produtivo. Esses fatores tornam o manejo ainda mais desafiador, especialmente no caso de gramíneas perenes de difícil controle, que apresentam elevada capacidade de sobrevivência e rein-festação nas áreas cultivadas.

Entre as espécies que mais preocupam produtores e pesquisadores está o capim-amargoso (*Digitaria insularis*), reconhecido atualmente como uma das plantas daninhas de mais difícil controle no Brasil. Essa gramínea apresenta elevada capacidade de adaptação e persistência nos sistemas agrícolas, características que favorecem sua ampla disseminação nos sistemas agrícolas brasileiros. Além disso, possui metabolismo fotossintético C₄, o que lhe confere alta eficiência no uso da luz e do carbono, contribuindo para manter crescimento vigoroso mesmo sob condições de estresse hídrico e altas temperaturas (KISSMANN; GROTH, 1997). Contudo, esse aspecto fisiológico atua como fator complementar à sua agressividade, que resulta da combinação de diferentes atributos biológicos e ecológicos.

O cenário de manejo dessa espécie tornou-se ainda mais complexo após a confirmação de biótipos resistentes ao glifosato herbicida que por muitos anos representou uma solução prática e economicamente viável para o seu controle (CARVALHO et al., 2011). Estudos científicos indicam que a resistência em *D. insularis* pode envolver diferentes mecanismos fisiológicos, entre eles, destaca-se a redução da translocação do herbicida para os pontos de crescimento da planta. Diante desse contexto, o controle da espécie passou a exigir uma abordagem mais estratégica, fundamentada nos princípios do Manejo Integrado de Plantas Daninhas (MIPD), incluindo a rotação de mecanismos de ação de herbicidas e o conhecimento detalhado da biologia e da dinâmica populacional da espécie (ALBRECHT et al., 2024; LOPEZ-OVEJERO et al., 2017).

Diante desse cenário, o manejo *D. insularis* no campo tem sido baseado na integração de diferentes mecanismos de ação de herbicidas, priorizando aplicações em estádios de maior vulnerabilidade fisiológica da gramínea. Adegas et al. (2012) e Albrecht et al. (2024) relatam

que estratégias como aplicações sequenciais e o uso de herbicidas pré-emergentes contribuem para reduzir o acúmulo de biomassa e a pressão exercida pelo banco de sementes no solo. Além disso, diversos estudos apontam que aplicações realizadas fora do momento adequado tendem a comprometer a eficiência do controle químico e podem favorecer a seleção de biótipos com resistência múltipla, com potenciais impactos sobre a sustentabilidade produtiva de sistemas agrícolas como as sucessões soja–milho e áreas canavieiras (Nunes, 2023; Lopez-Ovejero et al., 2017). Assim, este trabalho teve como objetivo analisar a influência do estágio fenológico na eficácia do controle químico de *D. insularis* com o herbicida mesotriona, discutindo as principais barreiras morfoanatômicas e fisiológicas que justificam a necessidade de intervenções precoces para a manutenção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Mendes; Silva, 2023).

Entre os fatores que mais influenciam a eficiência dos tratamentos em pós-emergência está o estágio fenológico da planta no momento da aplicação. Estudos indicam que a suscetibilidade do *D. insularis* diminui de forma acentuada à medida que a planta avança em seu ciclo, especialmente após o início da formação de rizomas (OLIVEIRA, 2020). Quando o manejo é realizado de forma tardia, em plantas já perenizadas, o resultado frequentemente é apenas controle parcial, seguido de rebrota, o que eleva os custos de manejo e intensifica a pressão de seleção por resistência (ADEGAS et al., 2012).

A transição do estágio de plântula para a formação de touceiras representa um ponto crítico nesse processo. Nessa fase, ocorrem mudanças estruturais importantes, como o espessamento da cutícula e o aumento da deposição de ceras epicuticulares, que podem reduzir a absorção foliar de herbicidas (CARVALHO, 2021). Como consequência, aplicações realizadas fora da janela ideal, geralmente entre duas e quatro folhas, tendem a apresentar redução significativa de eficiência, tanto para herbicidas de contato quanto sistêmicos (MELO et al., 2012). Além das alterações morfológicas, plantas em estádios mais avançados desenvolvem rizomas robustos que funcionam como estruturas de reserva de carboidratos. Correia e Durigan (2009) demonstraram que essas reservas permitem que a planta suporte injúrias severas na parte aérea e promova rebrota rápida a partir de gemas protegidas. Assim, o controle de plantas adultas demanda doses mais elevadas e estratégias complementares quando comparado ao manejo de indivíduos jovens (OLIVEIRA, 2020).

Entre os fatores que mais influenciam a eficiência dos tratamentos em pós-emergência está o estágio fenológico da planta no momento da aplicação. Estudos indicam que a suscetibilidade do *D. insularis* diminui de forma acentuada à medida que a planta avança em

seu ciclo, especialmente após o início da formação de rizomas (OLIVEIRA, 2020). Quando o manejo é realizado de forma tardia, em plantas já perenizadas, o resultado frequentemente é apenas controle parcial, seguido de rebrota, o que eleva os custos de manejo e intensifica a pressão de seleção por resistência (ADEGAS et al., 2012). Assim, este trabalho teve como objetivo analisar a influência do estágio fenológico na eficácia do controle químico de *D. insularis* com o herbicida mesotriona, discutindo as principais barreiras morfoanatômicas e fisiológicas que justificam a necessidade de intervenções precoces para a manutenção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Mendes; Silva, 2023).

2. OBJETIVO

Avaliar o potencial de controle do herbicida Calipen (Mesotriona) sobre a planta daninha Capim Amargoso (*D. insularis*) analisando a eficácia de diferentes dosagens e o efeito da associação com o herbicida diuron na redução da biomassa.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Biologia e Estratégias de Sobrevivência de *Digitaria insularis*

A espécie *D. insularis* (L.) Fedde, conhecida popularmente como capim-amargoso, pertence à família Poaceae (Kissimann; Groth, 1997) e, atualmente, é uma das plantas daninhas mais desafiadoras da agricultura brasileira. Trata-se de uma gramínea de metabolismo C₄, o que lhe garante elevada eficiência fotossintética e excelente adaptação a ambientes com alta radiação solar, temperaturas elevadas e períodos de estresse hídrico (Mendes; Silva, 2023). Essas características fisiológicas explicam, por que a espécie encontrou nos sistemas produtivos do Brasil condições ideais para sua expansão, especialmente em áreas submetidas a cultivo intenso e uso frequente de herbicidas (Melo et al., 2012).

Do ponto de vista botânico, *D. insularis* é uma planta perene que se destaca pela formação de touceiras densas e vigorosas (Kissimann; Groth, 1997). Essas touceiras são sustentadas por rizomas curtos e fibrosos, que atuam como estruturas de reserva de amido e carboidratos. Essa característica confere à planta uma notável capacidade de regeneração, permitindo que sobreviva mesmo após injúrias severas na parte aérea (Correia; Durigan, 2009). A formação dessas estruturas ocorre relativamente cedo no ciclo da planta e, uma vez estabelecidas, tornam o manejo químico significativamente mais complexo, sobretudo em estádios avançados (Oliveira, 2020).

A agressividade do *D. insularis* no campo também está diretamente ligada à sua estratégia reprodutiva. A espécie apresenta elevada produção de sementes, podendo uma única planta gerar mais de 100 mil propágulos (Melo et al., 2012). Essas sementes possuem tricomas sedosos que facilitam a dispersão pelo vento, permitindo que a infestação se espalhe rapidamente para áreas vizinhas, talhões em reforma ou novas frentes de cultivo (Kissimann; Groth, 1997). Além da reprodução por sementes, a propagação vegetativa via rizomas reforça sua persistência, tornando sua erradicação um processo tecnicamente desafiador e economicamente oneroso (Correia; Durigan, 2009).

Embora o crescimento inicial da *D. insularis* seja relativamente lento até cerca de 45 dias após a emergência, esse período representa apenas uma fase transitória. Logo, esse intervalo, a planta entra em crescimento acelerado, com acúmulo expressivo de biomassa e início do perfilhamento (Oliveira, 2020). Como destaca Bazanella (2021), essa mudança marca um ponto crítico para o manejo: a planta deixa de ser uma plântula relativamente vulnerável e passa a se comportar como uma touceira estruturada, altamente competitiva em culturas como milho e soja.

Nesse contexto, estudos indicam que a eficiência do controle químico está diretamente associada ao estágio fenológico da planta no momento da aplicação. O manejo realizado em estádios iniciais apresenta maior probabilidade de sucesso, enquanto aplicações após o perfilhamento e a formação de touceiras tendem a resultar em redução significativa do controle (Adegas et al., 2012; Carvalho, 2021; Rodrigues; Almeida, 2018; Albrecht et al., 2024). Dessa forma, compreender a biologia e o comportamento fenológico da espécie torna-se fundamental para orientar a tomada de decisão no manejo em campo.

3.2 Influência do estágio fenológico na eficiência do controle químico

O manejo precoce, realizado quando as plantas apresentam até quatro folhas e ainda não iniciaram o perfilhamento, é decisivo. Nessa fase, o capim-amargoso possui alta atividade metabólica e reservas energéticas ainda limitadas, o que favorece tanto a absorção quanto a translocação dos herbicidas sistêmicos. A planta, nesse estágio, é fisiologicamente mais vulnerável e estruturalmente menos protegida (Carvalho, 2021; Rodrigues; Almeida, 2018).

À medida que evolui para o estágio de touceira, entretanto, o cenário muda de forma significativa. Desenvolvem-se barreiras morfoanatômicas que reduzem a eficiência dos produtos aplicados. O espessamento da cutícula e o aumento da deposição de ceras epicuticulares tornam a superfície foliar mais hidrofóbica, dificultando a retenção e a penetração das gotas de pulverização (Carvalho, 2021). Como consequência, mesmo doses elevadas podem resultar em controle insatisfatório quando aplicadas em plantas perenizadas (Correia; Durigan, 2009).

Além dessas barreiras externas, há também uma mudança importante na fisiologia interna da planta. Em estádios mais avançados, o sistema de rizomas e raízes passa a acumular maiores reservas de carboidratos. Assim, mesmo após a dessecação da parte aérea, as gemas protegidas utilizam essas reservas para promover rebrota rápida, reduzindo drasticamente a

eficácia do controle químico (Correia; Durigan, 2009). Esse processo não apenas eleva os custos operacionais, como também intensifica a pressão de seleção de biótipos resistentes, tornando o manejo tardio técnica e economicamente menos viável (Albrecht et al., 2024).

A situação se torna ainda mais complexa diante da resistência ao glifosato, já amplamente registrada no Brasil. Estudos mostram que essa resistência não se limita a alterações no sítio de ação da enzima EPSPS, mas também envolve mecanismos de não-sítio de ação, como mudanças na absorção e na translocação do herbicida (Melo et al., 2012). Nesses casos, o produto permanece retido nas folhas tratadas e não atinge os meristemas e rizomas em concentrações suficientes para causar a morte da planta, comprometendo o controle sistêmico (Melo et al., 2012).

Como resposta a esse cenário, passaram a ser incorporados ao manejo herbicidas com outros mecanismos de ação, como os inibidores da ACCase (Adegas et al., 2012; Rodrigues; Almeida, 2018). Contudo, mesmo esses produtos apresentam redução significativa de eficiência quando aplicados em plantas já perenizadas ou em estádios avançados (Oliveira, 2020).

Diante disso, reforça-se um princípio agrônomo fundamental: o momento da aplicação é determinante para o sucesso do manejo químico de *D. insularis*. Intervenções realizadas em estádios iniciais, antes da formação de touceiras e da consolidação do sistema radicular, apresentam maior eficiência e menor risco de rebrota e seleção de resistência (Albrecht et al., 2024).

Em síntese, no manejo do capim-amargoso, o tempo é um fator estratégico. Quanto mais jovem a planta no momento da aplicação, maiores são as chances de controle efetivo e menor é o risco de comprometer a sustentabilidade do sistema produtivo (Adegas et al., 2012; Rodrigues; Almeida, 2018)

3.3 O Impacto do Estádio Fenológico na Absorção e Translocação

Além disso, o fluxo de fotoassimilados ocorre predominantemente em direção aos meristemas apicais, o que facilita a translocação do herbicida até os pontos de crescimento (Mendes; Silva, 2023). Outro aspecto importante nessa fase é que os rizomas ainda estão em formação e apresentam baixa capacidade de armazenar carboidratos. Como consequência, após a injúria química, a planta possui menor potencial de rebrota. Além disso, como o perfilhamento ainda não se iniciou plenamente, existem menos pontos de crescimento e eles permanecem mais expostos, o que aumenta a probabilidade de mortalidade total da planta (Carvalho, 2021).

No entanto, à medida que a planta avança para o estágio de perfilhamento, o cenário muda consideravelmente. Oliveira (2020), em estudos de dose-resposta, demonstrou que, após a formação de touceiras, a dose necessária para atingir 80% de controle pode ser quatro a seis vezes maior do que aquela utilizada em plantas jovens. Essa queda de eficiência não ocorre por acaso, mas é resultado de uma combinação de fatores fisiológicos e estruturais.

Com o aumento da biomassa aérea, o herbicida aplicado sofre efeito de diluição, reduzindo sua concentração efetiva nos tecidos-alvo. Paralelamente, intensifica-se o fluxo basípeto de assimilados, direcionando energia para as estruturas de reserva, especialmente os rizomas. Isso dificulta que o herbicida alcance concentrações letais nos meristemas subterrâneos (Melo et al., 2012).

Além disso, plantas em estádios mais avançados apresentam cutícula mais espessa e maior deposição de ceras, o que reduz a absorção foliar. Na prática, isso torna a folha mais impermeável, dificultando a retenção e o espalhamento das gotas pulverizadas. Com menor contato entre o herbicida e o tecido vegetal, a absorção foliar é comprometida e a eficiência do produto diminui (Carvalho, 2021). A própria arquitetura da touceira contribui para o problema, pois o sombreamento interno e a sobreposição de folhas prejudicam a cobertura uniforme da pulverização, diminuindo a interceptação do produto pelas folhas basais (Melo et al., 2012).

Diante desse conjunto de evidências, a literatura é consistente ao recomendar intervenções precoces no manejo do capim-amargoso, antes do início do perfilhamento e da consolidação das estruturas perenes. O atraso na aplicação não apenas compromete a eficiência técnica do herbicida, como também coloca em risco a sustentabilidade do manejo a longo prazo (Melo et al., 2012).

3.4 Barreiras Morfológicas e o Fenômeno da Rebrotas

Um dos grandes desafios no controle químico de plantas em estádios avançados é a chamada resistência física. À medida que o capim-amargoso envelhece, sua estrutura se modifica de forma significativa (Carvalho, 2021). A própria arquitetura da touceira também interfere diretamente no resultado da aplicação. Plantas adultas apresentam folhas sobrepostas e perfilhos densamente agrupados, formando uma estrutura fechada que dificulta a penetração da calda nas partes internas. Como consequência, o produto muitas vezes não alcança as folhas basais nem os meristemas protegidos. Esse problema é ainda mais evidente quando se utilizam

herbicidas de contato, como o glufosinato de amônio, que dependem de cobertura direta e não apresentam translocação significativa (Carvalho, 2021). Em plantas com grande massa vegetativa, a eficiência desses produtos tende a cair drasticamente.

Além das barreiras estruturais, há mudanças fisiológicas importantes associadas ao envelhecimento da planta. Em estádios mais avançados, ocorre redução da taxa de crescimento relativo e maior lignificação dos tecidos, fatores que dificultam tanto a penetração quanto a movimentação intracelular dos herbicidas (Mendes; Silva, 2023). Folhas mais velhas apresentam menor atividade metabólica, o que reduz a velocidade de absorção e a redistribuição sistêmica do ingrediente ativo, especialmente no caso de herbicidas que dependem do transporte via floema (Correia e Durigan, 2009). Adegas et al. (2012) relatam que aplicações isoladas de glifosato, e até mesmo de graminicidas inibidores da ACCase, em touceiras consolidadas frequentemente resultam em rebrota visível em menos de 20 dias após o tratamento. Oliveira (2020) complementa que, em plantas perenizadas, mesmo quando ocorre necrose aparente da parte aérea, a mortalidade total é rara, sendo comum a necessidade de aplicações sequenciais ou estratégias combinadas.

Em situações envolvendo biótipos resistentes ao glifosato, o problema torna-se ainda mais complexo. Melo et al. (2012) destacam que, nesses casos, a limitação de translocação impede que o herbicida alcance os rizomas em concentrações letais. Parte do produto permanece retida nas folhas tratadas, agravando o potencial de rebrota. A soma de barreiras físicas, limitações fisiológicas e elevada capacidade de reserva faz com que o manejo tardio seja técnica e economicamente menos eficiente.

Do ponto de vista agrônomo, isso significa que o controle de *D. insularis* em estádios avançados exige maior investimento: ajustes de dose dentro dos limites recomendados, uso de adjuvantes para melhorar espalhamento e penetração, aplicações sequenciais e integração com práticas culturais (Albrecht et al., 2024; Rodrigues; Almeida, 2018). Ainda assim, a literatura é clara ao afirmar que nenhuma dessas medidas compensa totalmente o atraso na intervenção inicial. Em síntese, à medida que avança em seu desenvolvimento, *D. insularis* deixa de ser uma plântula relativamente suscetível e passa a apresentar maior capacidade de sobrevivência e recuperação (Melo et al. (2012).

A presença de estruturas de reserva, aliada a características fisiológicas da espécie e a possíveis mecanismos de resistência, contribui para as falhas de controle frequentemente

observadas em campo, reforçando a importância do manejo precoce e integrado (Albrecht et al., 2024; Rodrigues; Almeida, 2018).

3.5 Integração de Métodos para o Manejo de Touceiras

Quando o *D. insularis* já atingiu o estágio de perenização, com touceiras consolidadas e rizomas plenamente desenvolvidos, o controle químico se torna mais desafiador. Nessa situação, a literatura recomenda a adoção de aplicações sequenciais como estratégia para aumentar a eficiência do manejo. Adegas et al. (2012) e Albrecht et al. (2024) explicam que a primeira aplicação tem como objetivo reduzir a biomassa da parte aérea e “abrir” a touceira, permitindo maior penetração da calda nas regiões internas da planta. Além disso, essa intervenção inicial provoca um desequilíbrio fisiológico temporário, estimulando a mobilização de reservas e favorecendo a emissão de novos perfilhos (Adegas et al. (2012)) e Albrecht et al. (2024). A segunda aplicação, geralmente realizada entre 7 e 14 dias após a primeira, deve coincidir com o início da rebrota. Nesse momento, os novos tecidos apresentam cutícula mais fina, maior atividade metabólica e, conseqüentemente, maior sensibilidade aos herbicidas sistêmicos. Oliveira (2020) ressalta que o sucesso dessa estratégia depende diretamente do intervalo entre as aplicações: períodos muito curtos não permitem a formação suficiente de tecidos jovens, enquanto intervalos prolongados possibilitam nova consolidação estrutural da planta, reduzindo novamente a eficiência do controle.

Além da aplicação sequencial, a literatura destaca a importância da associação de diferentes mecanismos de ação. Segundo Melo et al. (2012), combinar herbicidas, como os inibidores da ACCase com produtos de ação complementar, pode aumentar a eficiência de supressão da parte aérea e reduzir a chance de sobrevivência das gemas protegidas, além de contribuir para retardar a evolução da resistência.

Outro aspecto fundamental é o manejo do banco de sementes. Danilussi (2023) enfatiza que o controle eficiente do *D. insularis* não pode se limitar às touceiras já estabelecidas. A espécie apresenta elevada produção de sementes e baixa dormência primária, o que favorece germinação rápida quando há umidade e luz disponíveis, especialmente em áreas com solo exposto (Melo et al., 2012). Ignorar essa dinâmica significa permitir a reinfestação contínua da área (Danilussi 2023).

Nesse contexto, o uso de herbicidas pré-emergentes com residual adequado torna-se peça-chave na estratégia de manejo. Esses produtos ajudam a reduzir o fluxo de emergência de novas plântulas e a quebrar o ciclo de reinfestação (Mendes; Silva, 2023). Albrecht et al. (2024) reforçam que a combinação entre um controle pós-emergente eficiente das plantas adultas e a supressão da emergência subsequente é essencial para diminuir gradativamente a densidade populacional ao longo das safras.

As práticas culturais também desempenham papel importante. A manutenção de palhada, a rotação de culturas e a redução do revolvimento do solo contribuem para diminuir a emergência de novas plântulas, já que a germinação de *D. insularis* é estimulada pela incidência direta de luz sobre o solo (Mendes; Silva, 2023). Sistemas com maior cobertura superficial tendem, portanto, a dificultar o estabelecimento inicial da espécie.

Sob a ótica estratégica, a literatura é clara: o manejo de plantas perenizadas exige abordagem integrada. Aplicações sequenciais, uso de pré-emergentes, rotação de mecanismos de ação e adoção de práticas culturais precisam atuar de forma complementar. Quando essa integração não ocorre, o resultado costuma ser apenas um controle temporário, seguido de rápida reinfestação e aumento progressivo da pressão de seleção por biótipos resistentes (Adegas et al., 2012; Albrecht et al., 2024).

Assim, o controle de *D. insularis* em estádios avançados não deve ser encarado como uma ação isolada, mas como parte de um programa estruturado de manejo integrado de plantas daninhas. Somente com planejamento, escolha adequada dos herbicidas e atenção ao banco de sementes é possível garantir sustentabilidade produtiva a longo prazo.

3.6 A Mesotriona e o Manejo Inteligente do Capim Amargoso

A busca por soluções eficazes contra o *D. insularis*, considerada uma das plantas daninhas mais resilientes do mundo, levou a ciência a explorar compostos de origem natural. Foi nesse cenário que surgiu a Mesotriona (princípio ativo do herbicida Calipen), uma molécula pertencente à classe química das tricetonas. Curiosamente, sua origem é botânica: ela foi desenvolvida a partir da leptospermona, um composto alelopático produzido pelas raízes da planta ornamental *Leptospermum scoparium*. Segundo Mitchell et al. (2001), essa descoberta permitiu a criação de um herbicida que combina um amplo espectro de controle com uma seletividade notável em culturas de interesse econômico, como o milho e a cana-de-açúcar.

O que torna a mesotriona fascinante do ponto de vista biológico é o seu modo de ação cirúrgico. Ela atua como uma inibidora da enzima 4-hidroxifenilpiruvato-dioxigenase (HPPD), que é o coração da produção de carotenoides nas plantas Mitchell et al. (2001). Como explicam Grossmann e Ehrhardt (2007), ao bloquear essa via metabólica, o herbicida retira a blindagem natural da planta contra a luz solar. Sem os carotenoides para dissipar o excesso de energia luminosa, a clorofila sofre um processo de foto-oxidação catastrófico, resultando no sintoma visual mais característico do produto: o albinismo foliar intenso, que rapidamente evolui para a morte dos tecidos.

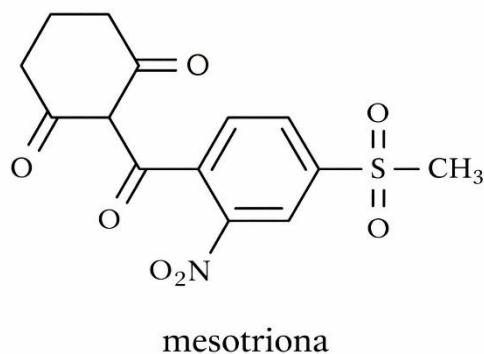
No caso específico do *D. insularis*, o desafio é atingir os rizomas subterrâneos, e é aqui que a sistemicidade da mesotriona se destaca. O herbicida é absorvido pelas folhas e translocado com eficiência via floema para os pontos de crescimento e drenos metabólicos da planta (Mitchell et al. (2001). De acordo com o Herbicide Handbook (Shaner, 2014), essa translocação é o que permite que o produto não apenas danifique a parte aérea, mas também comprometa o vigor das estruturas de reserva. Além disso, a literatura moderna reforça que o sucesso do controle é potencializado quando a mesotriona é utilizada em misturas. Complementarmente à eficácia intrínseca da molécula, a literatura técnica e a prática agrônômica demonstram que o sucesso no manejo do *D. insularis* é significativamente potencializado quando a mesotriona é utilizada em associações. Sob essa ótica, a interação entre a mesotriona e a atrazina destaca-se como um dos exemplos mais emblemáticos de sinergismo na ciência das plantas daninhas. Esta combinação não apenas amplia o espectro de controle, mas promove uma resposta herbicida de natureza não linear, na qual a mistura dos compostos entrega uma eficácia biológica superior à somatória de seus efeitos individuais.

O fundamento biológico desse fenômeno reside em uma ação conjunta e complementar sobre o aparato fotossintético. Enquanto a mesotriona inibe a enzima HPPD, suprimindo a síntese de carotenoides, responsáveis pela fotoproteção da clorofila, a atrazina atua bloqueando o transporte de elétrons no Fotossistema II (PSII) (Herbicide Handbook (Shaner, 2014).

Essa convergência estabelece uma interrupção do fluxo de elétrons pela atrazina exacerbando a formação de espécies reativas de oxigênio (radicais livres), enquanto a carência de carotenoides induzida pela mesotriona deixa a célula vegetal desprovida de sua principal defesa contra o estresse oxidativo. O resultado desse desequilíbrio é a degradação acelerada das membranas celulares e a destruição sistêmica da clorofila, conferindo ao controle de espécies

perenizadas um caráter significativamente mais célere e consistente, mesmo sob variáveis eda-foclimáticas adversas (Herbicide Handbook (Shaner, 2014),

Figura 1- Fórmula molecular da Mesotriona



Fonte: Silva, T.P 2026

A estratégia de associar a mesotriona a inibidores da fotossíntese, como o diuron, cria o que a ciência chama de "ataque duplo" ou sinergia. Enquanto a mesotriona impede a proteção dos pigmentos, o diuron aumenta a produção de radicais livres dentro da célula (Mitchell et al. (2001). Abendroth et al. (2006) demonstram que essa combinação sobrecarrega o sistema de defesa da planta, impedindo qualquer tentativa de recuperação fisiológica. Essa fundamentação teórica justifica os resultados observados em campo, onde as misturas de mesotriona com diuron superaram significativamente a eficácia das aplicações isoladas, oferecendo um manejo mais robusto e duradouro contra a infestação por *D. insularis*.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e Condições Experimentais

O estudo foi estabelecido e conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Tecnologia da Produção (LATEP), unidade integrante do Setor de Biologia e Manejo de Plantas Daninhas do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA/UFAL), localizado em Rio Largo – AL. Este ambiente proporcionou as condições controladas necessárias para a observação precisa do desenvolvimento das plantas e da eficácia dos herbicidas aplicados, servindo como base para todas as etapas de cultivo e análise.

Para a composição do substrato de cultivo, utilizou-se solo classificado como Latossolo Amarelo coeso de textura média, coletado diretamente no horizonte A de áreas locais. O solo passou por um processo de secagem e peneiramento para garantir a homogeneidade física. Essa mistura foi acondicionada em recipientes plásticos com capacidade de 1.2Kg, oferecendo um ambiente rico em matéria orgânica e com drenagem adequada para o crescimento radicular. As mudas, a priori, foram plantadas em tubetes com esse substrato. Depois transferidas para os vasos.

As unidades experimentais foram mantidas sob um regime de irrigação diária, ajustado para manter o solo sempre próximo à capacidade de campo. Esse manejo cultural foi determinante para garantir que, no momento da intervenção química, todas as parcelas apresentassem uma arquitetura foliar semelhante, com altura média padronizada em aproximadamente 10 cm.

4.2 Material Vegetal e Instalação do Experimento

A espécie selecionada para o estudo foi o *D. insularis* reconhecida por sua alta capacidade de propagação e resistência a manejos convencionais. O material propagativo foi obtido de duas fontes distintas: uma área de plantio comercial de cana-de-açúcar e uma área de infestação natural dentro do próprio campus universitário. Essa diversidade de origem visou conferir maior representatividade aos resultados obtidos no experimento.

Figura 2- *Digitaria insularis* L



Fonte: Silva, T.P 2026

O delineamento adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), modelo que permitiu a distribuição aleatória das repetições para minimizar variações ambientais externas. O experimento contou com cinco repetições por tratamento, totalizando 45 unidades experimentais. Esta estrutura estatística foi planejada para suportar a comparação entre diferentes herbicidas e associações, garantindo que qualquer diferença observada fosse atribuída exclusivamente aos tratamentos aplicados.

4.3 Tratamentos e Tecnologia de Aplicação

Os tratamentos foram desenhados para testar diferentes espectros de controle. O herbicida mesotriona foi avaliado nas dosagens de 1, 2, 4 e 8 L/ha com testemunha sem aplicação de herbicida, sendo aplicado tanto de forma isolada quanto em associação com o herbicida diuron (dose fixa de 2 L/ha).

Figura 3- Preparo das dosagens



Fonte: Autor 2026

A aplicação foi realizada em pós-emergência, utilizando um pulverizador costal pressurizado por cilindro de CO₂. A barra de aplicação continha duas pontas de jato plano do modelo XR 110.02, calibradas para operar a uma pressão constante de 200 KPa. O deslocamento foi mantido a uma velocidade de 1 m s⁻¹, o que resultou em um volume de calda padronizado de 200 L ha⁻¹, garantindo uma deposição uniforme das gotas sobre a superfície foliar do *D. insularis* com adição do óleo mineral (0,5% v/v). Durante o processo, a temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas para evitar perdas por deriva ou evaporação precoce da calda. Uma testemunha sem aplicação de herbicida foi mantida sob as mesmas condições para servir como base de comparação para o crescimento natural da espécie.

4.4 Avaliações e Coleta de Dados

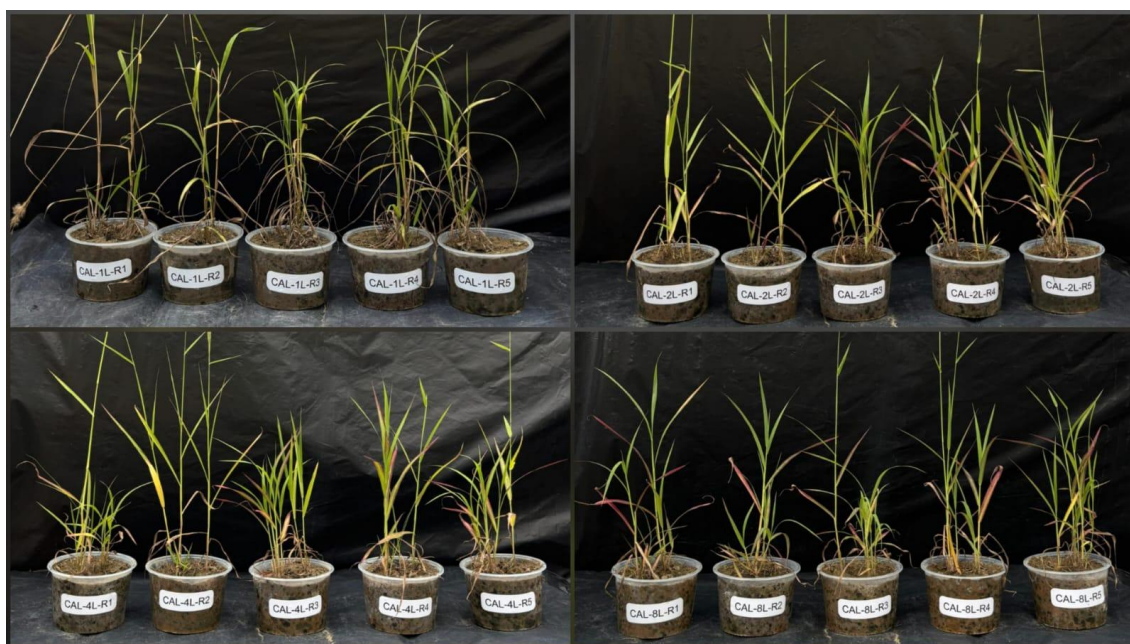
A eficácia dos herbicidas foi monitorada através de avaliações periódicas de danos foliares, realizadas aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a aplicação (DAA). A principal ferramenta diagnóstica foi a análise digital de imagens, onde fotografias capturadas em fundo preto.

Figura 4- Testemunha do experimento



Fonte: Autor 2026

Figura 5- Dosagem do herbicida Calipen de forma isolada



Fonte: autor 2026

Além das métricas visuais, procedeu-se à coleta física da biomassa aérea ao final do período experimental. As plantas foram cortadas rente ao solo para a determinação da massa úmida (MU) e, após serem submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar, obteve-se a massa seca (MS). Esses dados de peso foram fundamentais para calcular o índice de

controle real, expressando a redução percentual de biomassa em relação às plantas da testemunha.

4.5 Processamento e Análise Estatística

Todo o conjunto de dados foi organizado e processado eletronicamente, utilizando o software estatístico Sisvar (Ferreira 2011) como ferramenta principal. Inicialmente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F, buscando verificar a existência de interações significativas entre as doses e as associações de herbicidas. A normalidade e a homogeneidade das variâncias foram verificadas para assegurar a validade dos modelos estatísticos aplicados.

Nos casos em que se detectou significância estatística, as médias dos tratamentos qualitativos (como o uso ou não de Diuron e as diferentes doses de herbicida) foram comparadas e agrupadas através do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Esse procedimento permitiu identificar quais combinações foram superiores no controle da planta daninha, estabelecendo distinções claras entre as performances de cada dose testada.

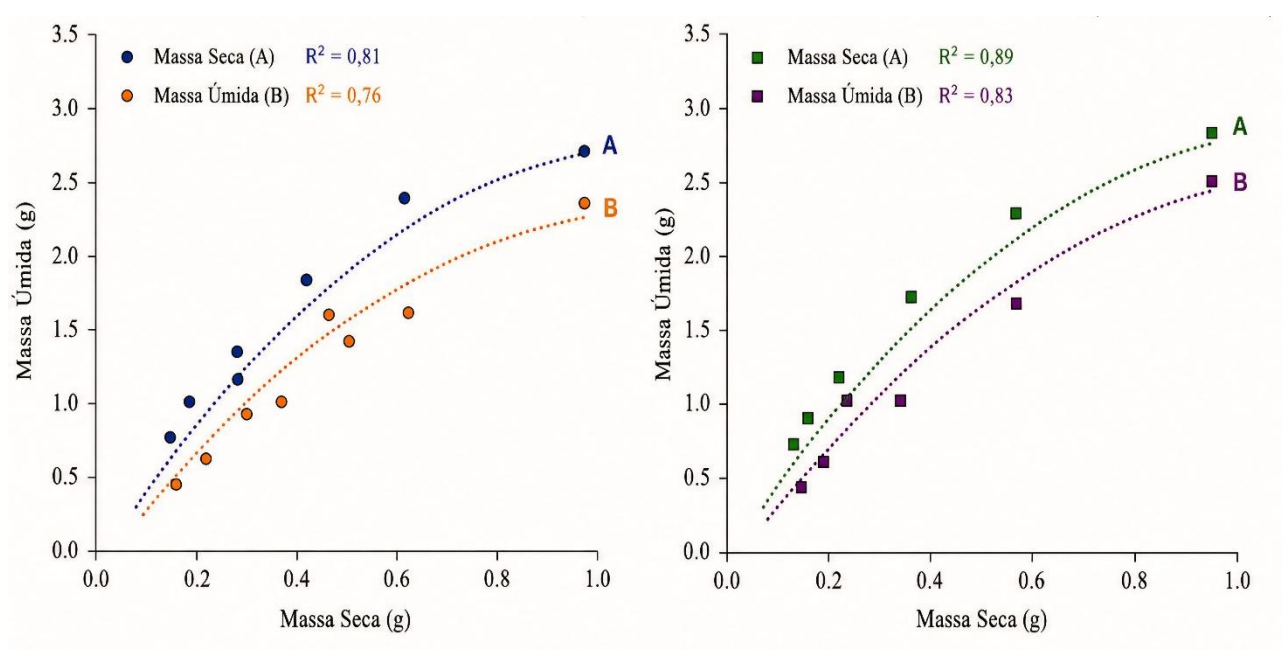
Para as variáveis quantitativas relacionadas às doses, os resultados foram ajustados a modelos de regressão não-linear (Origin 2026).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 1 Eficácia do Calipen e a Resposta à Dose-Dependente

Os resultados obtidos demonstram que o controle *D. insularis* é diretamente influenciado pela dosagem do herbicida Calipen, apresentando um comportamento de dose-resposta típico. A análise de variância revelou um efeito pouco significativo $p < 0,01$ onde o aumento das concentrações resultou em uma curva ascendente de supressão da biomassa, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6- Relação Massa seca e Massa úmida com Calipen e Massa seca e Massa úmida com Calipen com Diuron



Fonte: Autor 2026

Observa-se nas Figura 6 que a dose de 8 L/ha alcançou uma redução no percentual de massa seca equivalente a 58,75% para calipen e 58,29% para a associação de clipen com diuron, não avendo controle da espécie. Esse padrão corrobora as observações de Kaveri et al. (2018), que destacam que o controle de plantas perenes com estruturas de reserva subterrâneas, exige concentrações elevadas de ingrediente ativo para superar a capacidade de remobilização de fotoassimilados dos rizomas. O elevado coeficiente de determinação ($R^2 > 0,89$) reforça a

precisão do modelo ajustado. As médias detalhadas de controle para todas as variáveis e suas respectivas separações estatísticas pelo teste de Tukey estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Médias de controle de massa seca (MS) e massa úmida (MU) de plantas daninhas sob diferentes tratamentos com mesotriona

Tratamento	Dose (L/ha)	Controle Massa Seca (%) ¹	Controle Massa Úmida (%) ¹
Testemunha	0	0,00 d	0,00 d
Calipen	1	29,55 c	22,46 c
Calipen	2	47,50 bc	42,95 bc
Calipen	4	49,67 b	44,64 b
Calipen	8	58,75 a	54,29 a
Calipen + Diuron	1 + 2	47,24 bc	43,03 bc
Calipen + Diuron	2 + 2	54,17 ab	51,22 ab
Calipen + Diuron	4 + 2	54,89 ab	53,93 a
Calipen + Diuron	8 + 2	58,29 a	55,40 a
Média Geral		44,45	40,88
CV (%)		20,85	23,12
DMS (Tukey 5%)		19,33	

¹Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Autor (2026).

A limitação de controle nas doses mais baixas pode ser explicada pela morfologia da espécie. *D. insularis* possui folhas com cutícula espessa e cerosa, o que dificulta a absorção e translocação do herbicida. De acordo com Peerzada (2017), em seu estudo sobre a biologia da planta daninha, doses subestimadas de herbicidas sistêmicos muitas vezes causam apenas injúrias superficiais, permitindo que a planta sobreviva através das reservas acumuladas em seus rizomas.

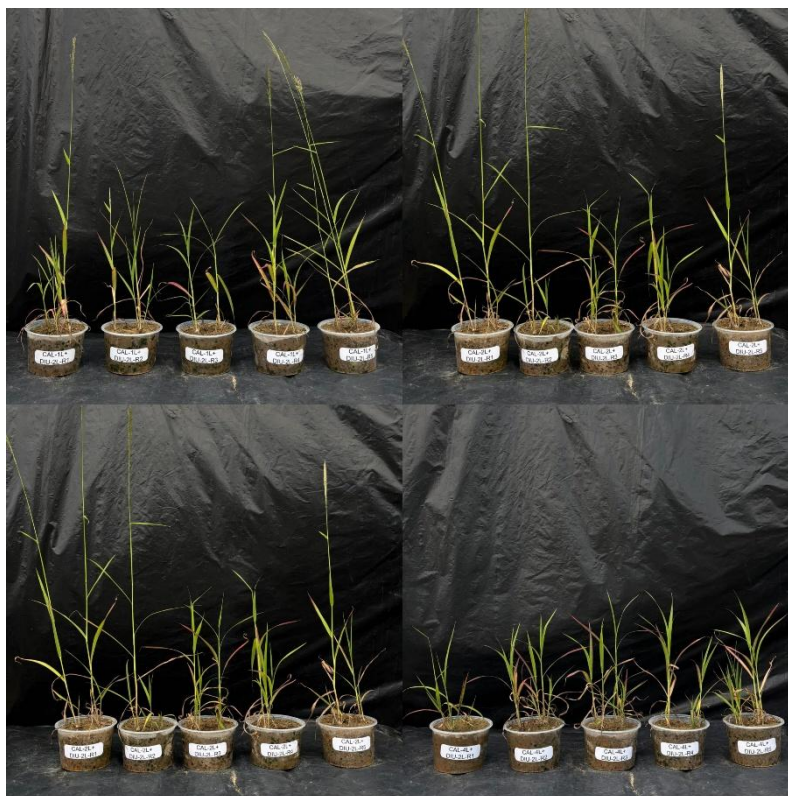
Sob uma perspectiva crítica, embora a dose de 8 L/ha tenha sido a mais eficiente, o controle de 58,75% ainda é considerado pouco susceptível em termos de erradicação total. Como discutido por Webster et al. (2008), a eficiência de herbicidas aplicados isoladamente é frequentemente limitada em plantas C4 de ciclo perene, o que reforça a importância de integrar métodos de controle ou utilizar associações químicas que potencializem a penetração do produto.

5.2 Sinergia e Efeito Complementar da Associação com Diuron

A associação com o diuron facilitou a ação da Mesotriona, o que na literatura chama de ataque duplo. Enquanto a Mesotriona retira as defesas naturais (carotenoides), o diuron sobrecarrega o sistema com estresse oxidativo (Mendonça 2000). Durigan (1992) afirma que essa combinação de diferentes mecanismos de ação é uma ferramenta essencial para o manejo de espécies resistentes, pois ataca o metabolismo em múltiplos pontos e reduz a capacidade de defesa enzimática da planta daninha. Quando o mesotriona (1 L/ha) foi combinado ao diuron (2 L/ha), a eficácia saltou de 29,55% para 47,24% na massa seca, e de 22,46% para 43,03% na massa úmida. Segundo Mendonça (2000), o Diuron, atuando como inibidor do fotossistema II (FSII), causa o bloqueio do transporte de elétrons, o que acelera a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs) e a consequente dessecação dos tecidos foliares.

A associação com o diuron facilitou a ação do mesotriona (figura 7). A literatura sugere que herbicidas com ação de contato ou inibidores de fotossíntese, ao causarem danos rápidos às membranas celulares, podem alterar a dinâmica de absorção de outros herbicidas sistêmicos. Durigan (1992) afirma que a combinação de diferentes mecanismos de ação é uma ferramenta essencial para o manejo de espécies resistentes ou de difícil controle, pois ataca o metabolismo da planta em múltiplos pontos, reduzindo a sua capacidade de defesa enzimática (Durigan (1992).

Figura 7- Dosagem do herbicida Calipen quanto em associação com o herbicida Diuron



Fonte: autor 2026

Estatisticamente, o teste de Tukey demonstrou que a mistura de 1 L/ha de mesotriona + diuron foi equivalente a doses isoladas superiores (como a de 4 L/ha). Isso possui uma implicação prática e ambiental profunda: a possibilidade de reduzir a carga química de um herbicida específico através da associação inteligente de princípios ativos. Entretanto, é preciso cautela; como aponta Shaner (2014) o excesso de danos foliares rápidos causados por herbicidas de contato (como o Diuron em altas doses) pode, por vezes, restringir a translocação de herbicidas sistêmicos para os rizomas, um ponto que merece atenção em avaliações de rebrote a longo prazo.

5.3 Análise Digital e a Dinâmica da Cobertura Verde

Observou-se uma correlação negativa entre a dose de herbicida e o índice de cobertura verde. A rapidez com que os tratamentos associados reduziram a área verde indica um colapso precoce do aparelho fotossintético. De acordo com Patrício et al. (2021), a análise digital de

imagens é extremamente eficaz na detecção de estresse hídrico e químico, pois capta variações espectrais que precedem a morte morfológica da planta.

A consistência observada entre a redução da cobertura verde e a redução da massa seca (confirmada pela similaridade de médias no Sisvar) fortalece a confiabilidade dos dados. Segundo Thornley & Johnson (2000) em modelos de crescimento vegetal, a taxa de acúmulo de biomassa é diretamente proporcional à interceptação de luz pela área foliar verde. Portanto, a rápida dessecação observada nas parcelas tratadas com Calipen 8 L/ha e associações com Diuron interrompeu o ciclo de produção de energia, forçando a planta a consumir suas reservas internas, o que explica a redução acentuada na biomassa final.

5.4 Viabilidade dos Propágulos e Controle Sistêmico

A adição do óleo mineral (0,5% v/v) foi crucial para potencializar esse efeito. A literatura, através de Mendonça (2000), confirma que adjuvantes oleosos reduzem a tensão superficial da gota e dissolvem as ceras epicuticulares, aumentando a área de contato e a taxa de absorção. Sem o óleo, a barreira física da folha atua como um limitador severo à entrada do herbicida.

Por fim, a baixa viabilidade de rebrote nas doses mais altas (100% a 400% da dose comercial) confirma a tese de Siriwardana e Nishimoto (1987), que argumentam que o sucesso no manejo não deve ser medido pela morte da parte aérea, mas pela incapacidade de regeneração dos rizomas. Os resultados deste experimento indicam que, em dosagens adequadas e com a tecnologia de aplicação correta (adjuvantes), podem ocorrer danos sensíveis à cultura, porém sem efeitos significativos.

6. CONCLUSÃO

Conclui-se que a espécie *Digitaria insularis* apresenta reduzida suscetibilidade ao herbicida calipen com o princípio ativo mesotriona, assim como à associação calipen mais diuron, mesmo sob aplicações em doses elevadas, evidenciando baixa eficiência desses tratamentos no controle da espécie.

REFERÊNCIAS

- ABENDROTH, J. A. et al. Mesotrione combinations with atrazine and s-metolachlor for weed control in corn. *Weed Technology*, v. 20, n. 4, p. 984-989, 2006.
- ADEGAS, F. S. et al. Alternativas para o controle químico de capim-amargoso resistente ao glyphosate. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 11, n. 2, p. 195–203, 2012.
- ALBRECHT, A. J. P. et al. *Manejo integrado e sustentável de plantas daninhas*. Curitiba: SENAR AR/PR, 2024.

- BAZANELLA, R. H. O. *Perdas de produtividade na cultura do milho pela competição de capim-amargoso*. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, 2021.
- CARVALHO, S. J. P. Estádio fenológico do capim-amargoso e eficácia do herbicida glufosinato de amônio. *Weed Control Journal*, v. 20, 2021.
- CARVALHO, S. J. P. et al. Herbicide resistance of *Digitaria insularis* to glyphosate in Brazil. *Planta Daninha*, v. 29, n. 2, p. 345–352, 2011.
- CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Manejo químico de plantas adultas de *Digitaria insularis*. *Bragantia*, v. 68, n. 3, p. 689–697, 2009.
- GROSSMANN, K.; EHRHARDT, T. On the mechanism of action and selectivity of the corn herbicide mesotrione. *Pest Management Science*, v. 63, n. 5, p. 429–439, 2007.
- KISSMANN, K. G.; GROTH, D. *Plantas infestantes e nocivas*. 2. ed. São Paulo: BASF, 1997. v. 1.
- LOPEZ-OVEJERO, R. F. et al. Resistência de *Digitaria insularis* a herbicidas no Brasil: mecanismos e implicações para o manejo. *Planta Daninha*, v. 35, e017164814, 2017.
- LORENZI, H. *Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional*. 7. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2014.
- MELO, M. S. C. et al. Aspectos da biologia de *Digitaria insularis* resistente ao glyphosate e implicações para o seu controle. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 11, n. 2, p. 112–122, 2012.
- MENDES, K. F.; SILVA, A. A. *Plantas daninhas: biologia e manejo*. Viçosa: Editora UFV, 2023.
- NUNES, Rodrigo T. et al. Soybean injury caused by the application of subdoses of 2,4-D or dicamba, in simulated drift. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, v. 58, n. 4, p. 327–333, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03601234.2023.2173927>

OLIVEIRA, T. *Dose-resposta e manejo de Digitaria insularis em diferentes estádios fenológicos*. 2020. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. *Guia de herbicidas*. 7. ed. Londrina: Edição dos Autores, 2018.

DURIGAN, J. C. Efeitos da adição de adjuvantes e de misturas com herbicidas. *Planta Daninha*, v. 10, n. 1-2, p. 39-44, 1992.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: biological action and mechanisms. *Plant Physiology*, v. 153, n. 3, p. 1111-1120, 2010.

KAVERI, S. et al. Effect of different herbicides on the control of purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.). *International Journal of Chemical Studies*, v. 6, n. 4, p. 2378-2382, 2018.

MENDONÇA, C. G. Adjuvantes e qualidade da aplicação de herbicidas. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 1, n. 1, p. 85-92, 2000.

PATRÍCIO, A. J. R. et al. Digital image analysis for herbicide efficacy and weed interference detection. *Journal of Agricultural Science*, v. 13, n. 5, p. 45-56, 2021.

PEERZADA, A. M. Biology, agricultural impact, and management of *Cyperus rotundus* L.: the world's worst weed. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 39, n. 1, p. 27, 2017.

SHANER, D. L. *Herbicide Handbook*. 10. ed. Lawrence: Weed Science Society of America (WSSA), 2014. 513 p.

SIRIWARDANA, G.; NISHIMOTO, R. K. Propagules of purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) in soil. *Weed Technology*, v. 1, n. 3, p. 217-220, 1987.

THORNLEY, J. H. M.; JOHNSON, I. R. *Plant and Crop Modelling: A Mathematical Approach to Plant and Crop Physiology*. Caldwell: Blackburn Press, 2000. 669 p.

WEBSTER, T. M. et al. Purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) management in glyphosate-tolerant cotton. *Weed Science*, v. 56, n. 1, p. 121-126, 2008.