



**Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano
Curso de Bacharelado em Agronomia**

**Resposta de biótipos de capim-pé-de-galinha a herbicidas e
sua discriminação via sensoriamento remoto**

Gabriel Felipe de Sousa Meireles

Urutaí-GO
Junho de 2026

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS URUTAÍ
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONOMICA.

**Resposta de biótipos de capim-pé-de-galinha a herbicidas e
sua discriminação via sensoriamento remoto**

Gabriel Felipe de Sousa Meireles

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.
Orientador: Prof: Dr. Lucas da Silva Araujo.

Urutaí- GO

2026

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

S725r Sousa Meireles, Gabriel Felipe
Resposta de biótipos de capim-pé-de-galinha a herbicidas e sua
discriminação via sensoriamento remoto / Gabriel Felipe Sousa
Meireles. Urutaí 2026.

58f. il.

Orientador: Prof. Dr. Lucas da Silva Araújo.

Coorientador: Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva.

Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0120024 -
Bacharelado em Agronomia - Urutaí (Campus Urutaí).

1. Eleusine indica. 2. Imagens multiespectrais. 3. Resistência a
herbicidas. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Gabriel Felipe de Sousa Meireles

Matrícula:

2022101200240153

Título do trabalho:

Resposta de biótipos de capim-pé-de-galinha a herbicidas e sua discriminação via sensoriamento remoto

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01 / 07 / 2026

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Urutaí-GO

01 / 07 / 2026

Documento assinado digitalmente
 GABRIEL FELIPE DE SOUSA MEIRELES
 Data: 01/07/2026 12:40:47-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Local

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente
 LUCAS DA SILVA ARAUJO
 Data: 01/07/2026 13:13:43-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 3/2026 - DG-URT/CMPURT/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) vinte e seis dias do mês de junho de 2026, às dez horas e quinze minutos, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Lucas da Silva Araújo (orientador), Paulo César Ribeiro da Cunha (membro) e Uirá do Amaral (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado <RESPOSTA DE BIÓTIPOS DE CAPIM PÉ-DE-GALINHA A HERBICIDAS E SUA DISCRIMINAÇÃO VIA SENSORIAMENTO REMOTO= do estudante Gabriel Felipe de Sousa Meireles, Matrícula nº 2022101200240153 do Curso de Agronomia do IF Goiano - Campus Urutaí. A palavra foi concedida ao(a) estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

A média das notas atribuídas pelos membros da banca examinadora foi 9,5.

(Assinado Eletronicamente)

Lucas da Silva Araújo

Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Paulo César Ribeiro da Cunha

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Uirá do Amaral

Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Paulo Cesar Ribeiro da Cunha**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 01/07/2026 14:54:02.
- **Uira do Amaral**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 01/07/2026 15:16:16.
- **Lucas da Silva Araujo**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 01/07/2026 15:56:44.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 01/07/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 836840

Código de Autenticação: 71c0ab3157



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Urutai

Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, SN, Zona Rural, URUTAI / GO, CEP 75790-000

(64) 3465-1900

DEDICATÓRIA

A Deus, fonte da vida e de todo conhecimento.

A minha namorada, pelo companheirismo incondicional e por ser meu porto seguro nos momentos de cansaço.

A minha irmã, pelo apoio e por acreditar em cada passo da minha caminhada.

Aos meus pais, dedico este trabalho. Por sempre incentivarem a minha busca constante pelo conhecimento e por renunciarem, tantas vezes, aos seus próprios sonhos e confortos em prol da minha educação. Com sacrifício e amor, priorizaram a minha formação acadêmica acima de suas próprias necessidades, sendo o alicerce fundamental para que eu pudesse trilhar este caminho com excelência.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, que me permitiu vivenciar esta trajetória com saúde e me capacitar durante a minha graduação.

Aos meus familiares e amigos, por toda estrutura, apoio e compreensão nos momentos de ausência.

Ao meu orientador, Dr. Lucas da Silva Araújo, expresso meu mais sincero agradecimento por acreditar no meu potencial e permitir que eu fizesse parte da história do Grupo de Pesquisa Lavoura Limpa. Foi uma honra imensa caminhar ao seu lado, desde a sua chegada ao campus até a consolidação da minha formação. Sinto-me privilegiado por ter sido um dos membros fundadores e acompanhar de perto o crescimento deste grupo, que se tornou um ambiente de excelência e impulsionou a minha evolução, moldando o profissional que me torno hoje. Obrigado por cada oportunidade e pelos ensinamentos compartilhados, sua visão e dedicação incansável em fomentar a pesquisa científica criaram um espaço de aprendizado que foi o alicerce fundamental para a minha formação como Engenheiro Agrônomo.

Em especial, aos professores Dr. Anderson Rodrigo da Silva e Dr. Paulo César Ribeiro da Cunha, diretor do IF Goiano – Campus Urutaí por toda a orientação, pelos conhecimentos compartilhados e pelo companheirismo.

Ao Grupo de Estudos Lavoura Limpa, que desempenhou um papel fundamental na realização deste trabalho e no meu crescimento dentro da pesquisa agrícola.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, instituição que foi a base da minha formação profissional, primeiro como Técnico em Agropecuária e, agora, como Engenheiro Agrônomo. Estendo este agradecimento a todos os professores e funcionários que participaram direta ou indiretamente deste processo.

Ao Dr. Milton Luiz da Paz Lima e Dr. Flávio Gonçalves de Jesus, que, além do conhecimento e companheirismo, proporcionaram oportunidades essenciais e caminhos ímpares para o meu desenvolvimento profissional ao longo desta jornada.

Sumário

RESUMO.....	10
ABSTRACT	11
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE FIGURAS	13
INTRODUÇÃO	15
METODOLOGIA	18
RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
CONCLUSÃO	47
ANEXOS	48
REFERÊNCIAS.....	57

Resumo

O capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) destaca-se como uma das principais plantas daninhas no cenário agrícola do Cerrado, com crescentes relatos de resistência múltipla. Métodos convencionais de identificação de resistência demandam tempo elevado. Este trabalho teve como objetivo avaliar o uso do sensoriamento remoto termográfico como indicador de suscetibilidade e resistência em biótipos de *E. indica* submetidos a herbicidas inibidores da EPSPs e ACCase. Para isso, coletaram-se sementes de populações onde produtores relatavam escapes de controle no campo, além de sementes de um biótipo sabidamente suscetível. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC). Primeiramente, realizou-se o estudo de curvas de dose-resposta para comprovar o status de suscetibilidade e resistência dos três biótipos avaliados (Figueiredo: suscetível; Moresco e Barbosa: resistentes). Posteriormente, avaliou-se o efeito de seis tratamentos (T1: Testemunha; T2: Glifosato; T3: Cletodim; T4: Haloxifope; T5: Glifosato+Cletodim; T6: Glifosato+Haloxifope), com 5 repetições. Aos 17 dias após a aplicação (DAA), mensurou-se a temperatura foliar média por meio de câmera multiespectral (câmera termal Flir C2), determinando-se o contraste térmico ($\Delta T = T_{\text{tratamento}} - T_{\text{testemunha}}$), além do controle visual e da massa seca final. Os resultados demonstraram que, nos biótipos resistentes, a temperatura foliar se assemelhou à da testemunha, sofrendo pouca variação térmica. Por outro lado, no biótipo suscetível, a temperatura das plantas elevou-se em até +3,37 °C. O biótipo Barbosa apresentou resistência severa ao haloxifope (8,2% de controle) e ao glifosato (28%), mantendo estabilidade térmica estomática (ΔT de +0,29 °C e +0,07 °C, respectivamente). O biótipo Figueiredo demonstrou alto estresse térmico passivo sob glifosato e haloxifope (ΔT de +3,30 °C e +3,37 °C, respectivamente), evidenciando o bloqueio transpiratório por morte celular. Já o biótipo Moresco evidenciou comportamento de resistência múltipla intermediária ao glifosato (51% de controle) e ao haloxifope (52%), com estresse térmico moderado (ΔT de +1,49 °C e +0,50 °C, respectivamente). O cletodim expressou resposta térmica lenta e gradual em todas as populações (ΔT menor ou igual a +0,89 °C), preservando temporariamente a transpiração. Conclui-se que o contraste térmico foliar é um indicador precoce, preciso e não destrutivo, eficaz para discriminar com segurança o nível de resistência de biótipos a campo antes do surgimento de sintomas visuais.

Palavras-chave: *Eleusine indica*, Imagens multiespectrais, Resistência a herbicidas.

Abstract

Goosegrass (*Eleusine indica*) stands out as one of the main weeds in the Cerrado agricultural scenario, with increasing reports of multiple resistance. Conventional methods for identifying resistance are highly time-consuming. This study aimed to evaluate the use of thermographic remote sensing as an indicator of susceptibility and resistance in *E. indica* biotypes subjected to EPSPs and ACCase-inhibiting herbicides. For this purpose, seeds were collected from populations where growers reported control escapes in the field, as well as seeds from a known susceptible biotype. The experiment was conducted in a completely randomized design (CRD). First, a dose-response curve study was performed to confirm the susceptibility and resistance status of the three evaluated biotypes (Figueiredo: susceptible; Moresco and Barbosa: resistant). Subsequently, the effect of six treatments was evaluated (T1: Control; T2: Glyphosate; T3: Clethodim; T4: Haloxyfop; T5: Glyphosate+Clethodim; T6: Glyphosate+Haloxyfop), with 5 replications. At 17 days after application (DAA), the average leaf temperature was measured using a multispectral camera (Flir C2 thermal camera), determining the thermal contrast ($\Delta T = M_{\text{treatment}} - M_{\text{control}}$), in addition to visual control and final dry mass. The results demonstrated that, in the resistant biotypes, the leaf temperature resembled that of the control, undergoing little thermal variation. On the other hand, in the susceptible biotype, the plant temperature increased by up to +3.37 °C. The Barbosa biotype showed severe resistance to haloxyfop (8.2% control) and glyphosate (28%), maintaining stomatal thermal stability (ΔT of +0.29 °C and +0.07 °C, respectively). The Figueiredo biotype demonstrated high passive thermal stress under glyphosate and haloxyfop (ΔT of +3.30 °C and +3.37 °C, respectively), evidencing transpirational blockage due to cell death. In turn, the Moresco biotype evidenced intermediate multiple resistance behavior to glyphosate (51% control) and haloxyfop (52%), with moderate thermal stress (ΔT of +1.49 °C and +0.50 °C, respectively). Clethodim expressed a slow and gradual thermal response in all populations (ΔT less than or equal to +0.89 °C), temporarily preserving transpiration. It is concluded that leaf thermal contrast is an early, accurate, and non-destructive indicator, effective for safely discriminating the level of resistance of biotypes in the field before the onset of visual symptoms.

Keywords: *Eleusine indica*, Multispectral images, Herbicide resistance.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Município, estado, coordenadas geográficas, altitude e biótipo de cada população de capim-pé-de-galinha (<i>Eleusine indica</i>).....	17
Tabela 2. Herbicidas avaliados na metodologia da pesquisa.....	17
Tabela 3. Amplitude de doses utilizadas para cada herbicida avaliado	19
Tabela 4. Doses de cletodim necessárias para a redução de 50% (GR50) e 80% (GR80) e respectivos fatores de resistência (FR) da massa seca foliar de biótipos de <i>Eleusine indica</i>	23
Tabela 5. Doses de glifosato necessárias para a redução de 50% (GR50) e 80% (GR80) e respectivos fatores de resistência (FR) da massa seca foliar de biótipos de <i>Eleusine indica</i>	25
Tabela 6. Doses de haloxifope-p-metilico necessárias para a redução de 50% (GR50) e 80% (GR80) e respectivos fatores de resistência (FR) da massa seca foliar de biótipos de <i>Eleusine indica</i>	26
Tabela 7. Temperatura foliar média (°C) e erro padrão da média de biótipo Barbosa avaliados em diferentes dias após a aplicação (DAA) de tratamentos herbicidas isolados e em misturas	27
Tabela 8. Temperatura foliar média (°C) e erro padrão da média de biótipo Moresco avaliados em diferentes dias após a aplicação (DAA) de tratamentos herbicidas isolados e em misturas	32
Tabela 9. Temperatura foliar média (°C) e erro padrão da média de biótipo Figueiredo avaliados em diferentes dias após a aplicação (DAA) de tratamentos herbicidas isolados e em misturas	38

LISTAS DE FIGURAS

- Figura 1.** Autoclavagem do solo utilizado nos ensaios, visando a assepsia e a padronização das condições experimentais para avaliação de herbicidas 18
- Figura 2.** Distribuição das unidades experimentais em casa de vegetação, organizadas para o ensaio com biótipos de *Eleusine indica* 19
- Figura 3.** Organização dos vasos para a etapa de pulverização dos tratamentos de dose-resposta em ambiente aberto, precedendo o retorno à casa de vegetação 20
- Figura 4.** Biótipos de *Eleusine indica* posicionados para o ensaio de coleta de dados espectrais e imagens em ambiente externo 20
- Figura 5.** Curvas de dose resposta para o controle dos biótipos tratados com cletodim aos 38 DAA. Urutaí 2026..... 23
- Figura 6.** Curvas de dose resposta para o controle dos biótipos tratados com glifosato aos 38 DAA. Urutaí 2026..... 24
- Figura 7.** Curvas de dose resposta para o controle dos biótipos tratados com Haloxifope aos 38 DAA. Urutaí 2026..... 25
- Figura 8.** Distribuição e dispersão da temperatura foliar (°C) do biótipo Barbosa representada por diagramas de caixas (boxplots) ao longo dos períodos de avaliação 27
- Figura 9.** Temperatura foliar média (°C) do biótipo Barbosa submetido a diferentes tratamentos herbicidas isolados e em misturas ao longo de oito períodos de avaliação (0, 1, 2, 3, 5, 7, 16 e 17 DAA) 28
- Figura 10.** Análise de correlação linear entre a temperatura foliar média (°C) e o acúmulo de biomassa seca final (g) do biótipo Barbosa submetidos aos tratamentos T1: Testemunha; T2: Roundup; T3: Select; T4: Verdict; T5: Roundup + Select; T6: Roundup + Verdict aos 17 dias após a aplicação (DAA)..... 29
- Figura 11.** Análise de correlação linear de Pearson entre o índice de controle visual (%) e o acúmulo de biomassa seca final (g) do biótipo Barbosa aos 17 dias após a aplicação (DAA) de tratamentos herbicidas..... 30

- Figura 12.** Distribuição e dispersão da temperatura foliar (°C) do biótipo Moresco representada por diagramas de caixas (boxplots) ao longo dos períodos de avaliação 31
- Figura 13.** Temperatura foliar média (°C) do biótipo Moresco submetido a diferentes tratamentos ao longo de oito períodos de avaliação (0, 1, 2, 3, 5, 7, 16 e 17 DAA) 33
- Figura 14.** Análise de correlação linear entre a temperatura foliar média (°C) e o acúmulo de biomassa seca final (g) do biótipo Moresco submetidos aos tratamentos T1: Testemunha; T2: Roundup; T3: Select; T4: Verdict; T5: Roundup + Select; T6: Roundup + Verdict..... 34
- Figura 15.** Análise de correlação linear de Pearson entre o índice de controle visual (%) e o acúmulo de biomassa seca final (g) do biótipo Moresco aos 17 dias após a aplicação (DAA) de tratamentos herbicidas 36
- Figura 16.** Distribuição e dispersão da temperatura foliar (°C) do biótipo Figueiredo representada por diagramas de caixas (boxplots) ao longo dos períodos de avaliação 38
- Figura 17.** Temperatura foliar média (°C) do biótipo Figueiredo submetido a diferentes tratamentos herbicidas isolados e em misturas ao longo de oito períodos de avaliação (0, 1, 2, 3, 5, 7, 16 e 17 DAA) 39
- Figura 18.** Análise de correlação linear entre a temperatura foliar média (°C) e o acúmulo de biomassa seca final (g) do biótipo Figueiredo submetidos aos tratamentos..... 40
- Figura 19.** Análise de correlação linear de Pearson entre o índice de controle visual (%) e o acúmulo de biomassa seca final (g) do biótipo Figueiredo aos 17 dias após a aplicação (DAA) de tratamentos herbicidas 42
- Figura 20.** Contraste térmico foliar (Delta Ttratamento - Delta Ttestemunha, °C) em três biótipos de capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) submetidos a diferentes tratamentos herbicidas isolados e em mistura, avaliados aos 17 dias após a aplicação (DAA) 44

1. INTRODUÇÃO

O Capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica* [L.] Gaertn) tornou-se uma ameaça crescente à sustentabilidade e rentabilidade nos sistemas de produção agrícola irrigado e sequeiro. Trata-se de uma espécie autógama, com metabolismo fotossintético C4 e alta capacidade competitiva, podendo produzir até 120.000 sementes por planta (KISSMANN, 1997). Visitas técnicas a fazendas e observações de campo têm demonstrado falhas no controle químico do capim-pé-de-galinha, o que resulta em reclamações de produtores, principalmente devido ao aumento dos custos de produção. Estudos indicam que a convivência com esta planta pode reduzir a produtividade em até 80%, com perdas que chegam a 10 sacas de soja por hectare em apenas 21 dias (CORREIA, 2023). Um dos motivos da dificuldade de controle do capim-pé-de-galinha pode estar relacionado à evolução da resistência a herbicidas.

No Brasil, o primeiro relato oficial de biótipo de capim-pé-de-galinha resistente foi aos herbicidas inibidores da Acetil-CoA carboxilase (ACCase) em 2003 no Estado do Mato Grosso, ao glifosato inibidor da 5-enolpiruvilshikimate-3-fosfato sintase (EPSPs) no Estado do Paraná (TAKANO et al. 2017) e um ano após, o primeiro caso de resistência múltipla aos inibidores da EPSPs e ACCase, novamente no Mato Grosso (HEAP, 2024). O uso repetido desses herbicidas, muitas vezes em duas ou três aplicações por ciclo, impõe uma alta pressão de seleção que favorece biótipos resistentes (CHRISTOFFOLETI et al., 2003). Apesar da ausência de relatos científicos da resistência de capim-pé-de-galinha nas regiões de Goiás, Minas Gerais e Distrito Federal, a sobrevivência dessa planta daninha no campo pode ser um forte indício de resistência aos herbicidas.

De acordo com o mecanismo ou mecanismos de resistência desenvolvido, um biótipo pode apresentar resistência simples, cruzada ou múltipla. A resistência simples é caracterizada por determinado biótipo resistente a um único herbicida ou a um único grupo químico. Já a resistência cruzada se trata de casos em que determinado biótipo apresenta a habilidade de sobreviver a ação de dois ou mais herbicidas pertencentes ao mesmo mecanismo de ação, entretanto de grupos químicos diferentes, geralmente essa habilidade é adquirida por meio de mutações genéticas no sítio alvo. Já a resistência múltipla é caracterizada por um biótipo que possui mecanismos que conferem resistência a herbicidas de diferentes mecanismos de ação (Borgatto & Netto 2016).

Dentre os casos de resistência de plantas daninhas já relatados na literatura científica, destaca-se a resistência ao glifosato como uma das mais recorrentes em sistemas agrícolas. Esse cenário é especialmente preocupante devido à elevada importância desse herbicida no manejo de plantas daninhas, sobretudo em aplicações em pós-emergência das culturas. A ampla adoção de tecnologias baseadas na modificação genética, como as cultivares tolerantes ao glifosato, conhecidas como tecnologia Roundup Ready (RR), que expressam versões modificadas da enzima EPSPS (5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase), menos sensíveis à ação do herbicida, incluindo cultivares geneticamente modificadas para tolerância ao glifosato. Dessa forma contribuiu significativamente para a intensificação e repetição de seu uso

ao longo dos anos. Esse processo aumentou a pressão de seleção sobre as populações de plantas daninhas, favorecendo a evolução de biótipos resistentes. Tal contexto é particularmente relevante no Cerrado goiano, onde culturas como soja e milho geneticamente modificadas são amplamente cultivadas, nesse sentido o glifosato exerce papel central nos sistemas de produção agrícola.

Há registros na literatura científica que na década de 1980, evidenciam o glifosato como um herbicida altamente eficaz, de amplo espectro e não seletivo, capaz de controlar 76 das 78 principais espécies de plantas daninhas consideradas mais agressivas (FRANZ et al., 1985). No entanto, esse cenário já não reflete a realidade atual. Até a presente data (abril de 2026), foram confirmadas 62 espécies de plantas daninhas com resistência ao glifosato, distribuídas em 31 países, com ocorrência de diferentes biótipos resistentes (HEAP, 2026). Esse avanço da resistência evidencia a perda gradual de eficiência do herbicida e reforça a necessidade de adoção de novas estratégias de manejo.

Após sua aplicação, o glifosato é absorvido principalmente pelas folhas, apresentando rápida penetração inicial pela cutícula, seguida de entrada no simplasto celular. Posteriormente, o herbicida é translocado de forma sistêmica via floema, acompanhando o fluxo de fotoassimilados no sentido fonte-dreno, acumulando-se em tecidos metabolicamente ativos, como meristemas e órgãos de crescimento (JACHETTA et al., 1986).

A ampla adoção do glifosato nos sistemas agrícolas está diretamente relacionada à sua elevada eficiência no controle de plantas daninhas e ao seu perfil ambiental favorável. O herbicida apresenta baixa persistência no solo, sendo rapidamente imobilizado por adsorção aos coloides e degradado principalmente pela atividade microbiana. Em função dessas características, o glifosato possui pouco efeito residual, minimizando riscos de fitotoxicidade para culturas subsequentes. Essa condição, aliada ao seu amplo espectro de controle, contribui para sua grande aceitação e uso intensivo em diferentes sistemas de produção agrícola (DUKE; POWLES, 2008; GIESY et al., 2000).

Todavia, nem todas as populações de capim-pé-de-galinha distribuídas nos diferentes campos agrícolas dessas regiões são resistentes a herbicidas. O problema é que as plantas sensíveis e resistentes de capim-pé-de-galinha são parecidas e visualmente é impossível distingui-las no campo. Atualmente, existem vários testes fisiológicos, bioquímicos e moleculares que, após o tratamento com herbicida, tornam possível identificar plantas resistentes de plantas suscetíveis (BURGOS, 2015). Outro método científico bem difundido na pesquisa mundial para discriminar com precisão biótipos de plantas daninhas resistentes de suscetíveis trata-se dos ensaios de dose-resposta (BURGOS, 2013).

Contudo, os métodos atuais de confirmar a resistência de plantas daninhas a herbicidas requerem semanas ou meses, mais do que uma safra em muitos casos. Nesse sentido, é fundamental obter maior capacidade de classificação e detecção em tempo real, com destaque para os métodos de sensoriamento remoto baseados em imagens espectrais e aprendizado de máquina para classificar os diferentes biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas (SCHERRER et al., 2019).

Pesquisas anteriores abrangem estudos de imagens espectrais para avaliação de plantas daninhas resistentes e suscetíveis. Reddy et al. (2014) mostraram que imagens espectrais podem ser usadas para distinguir biótipos resistentes e suscetíveis a herbicidas com base na refletância das plantas.

A detecção de sintomas em plantas por imagens é baseada nos conceitos de refletância a partir de dados espectrais. Nesse sentido, sintomas de fitotoxicidade de herbicidas como necrose e clorose causam redução do teor de clorofila da planta, afetando a reflexão nas regiões espectrais visíveis ao olho humano (400-700 nm), borda vermelha (690-730 nm) e infravermelho próximo (700-1.300 nm) (SILVA et al., 2019). Desse modo, as plantas daninhas suscetíveis apresentam altos níveis de estresse ou morte induzidos por herbicidas, enquanto as plantas resistentes tendem a apresentar apenas danos mínimos, portanto imagens espectrais podem ser utilizadas na distinção de plantas daninhas resistentes e suscetíveis após a exposição aos herbicidas através da refletância das plantas.

Para a confirmação da resistência do capim-pé-de-galinha aos herbicidas, torna-se indispensável a realização de ensaios biológicos de dose e resposta, que servem como uma maneira rápida de diagnóstico no campo. Nesse sentido, a análise de dose-resposta constitui o método mais confiável para a caracterização da resistência, pois permite a construção de modelos que descrevem a relação entre a dose do herbicida e a resposta biológica da planta. Através do ajuste de curvas de dosagem, é possível estimar com precisão os parâmetros de sensibilidade e o fator de resistência que são fundamentais para a distinção entre populações suscetíveis e resistentes (KNEZEVIC et al., 2007). Assim, a utilização de um gradiente de dosagens crescentes estabelece a amplitude de resposta de cada biótipo, servindo como base rigorosa para validar os dados espectrais e garantir que as variações observadas pelo sensoriamento remoto sejam decorrentes dos diferentes níveis de controle e sensibilidade ao herbicida (BURGOS et al., 2013). Dessa maneira se o biótipo sobreviver à uma sub dosagem está confirmado a resistência, há relatos de alguns biotipos, não só do capim-pé-de-galinha mais outras plantas daninhas também que sobreviveu a dosagem 10 que seria 32 vezes a dose de bula.

2. METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados entre dezembro de 2025 e março de 2026, no Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí, GO, Brasil, coordenadas geográficas: 17° 27' 49" S e 48° 12' 06" W, altitude média de 807 m. As populações de capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) foram coletadas nas regiões do Distrito Federal e Goiás (Figura 1).

Tabela 1. Município, estado, coordenadas geográficas, altitude e biótipo de cada população de capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*).

Município	Estado	Coordenadas geográficas	Altitude (m)	Genótipo
Orizona	Goiás	-17.007668 S -48.300753 W	806 m	Barbosa
Cristalina	Goiás	16°52'56.45"S 47°34'10.04"W	1.056 m	Figueiredo
Brasília	Distrito Federal	16°19'21.04"S 47°40'27.87"W	945 m	Moresco

Fonte: Arquivo pessoal (2026)

O experimento foi conduzido em duas etapas complementares, uma parte em ambiente protegido, na casa de vegetação e a outra parte do experimento foi realizado fora da casa de vegetação. A primeira parte foi constituído pela Dose-Resposta: Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial com três repetições. Os fatores consistiram nos três biótipos sob nove dosagens crescentes variando de subdoses até 32X a dose de controle do Roundup Transorb, Select 240 EC e Verdict Max.

A segunda parte foi constituído com seis tratamentos diferentes compostos por: T1 (Testemunha); T2 (Roundup Transorb); T3 (Select 240 EC); T4 (Verdict-max); T5 (Roundup Transorb + Select 240 EC) e T6 (Roundup Transorb + Verdict-max). Essa segunda parte do trabalho foram conduzidos com cinco repetições, de modo que todos os biótipos foram submetidos às mesmas condições experimentais. As aplicações foram realizadas quando as plantas apresentavam três perfilhos.

Tabela 2. Herbicidas avaliados na metodologia da pesquisa.

Biótipo	Herbicidas
Figueiredo	Roundup Transorb, Select 240 EC, Verdict Max
Moresco	Roundup Transorb, Select 240 EC, Verdict Max

O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho de textura argilosa, coletado na própria instituição. Visando a eliminação de interferentes biológicos, todo o solo foi submetido ao processo de esterilização via autoclavagem. Este procedimento visou a completa inativação do banco de sementes e de propágulos de espécies invasoras pré-existentes, assegurando que a emergência observada fosse restrita exclusivamente aos biótipos de *Eleusine indica* selecionados para o estudo, eliminando assim variáveis de competição indesejadas como também patógenos e nematoides.



Figura 1 Autoclavagem do solo utilizado nos ensaios, visando a assepsia e a padronização das condições experimentais para avaliação de herbicidas.

O substrato foi elaborado na proporção volumétrica de duas partes de Latossolo para uma parte de areia fina que também foi autoclavada. A fertilização de base foi realizada com o formulado NPK 08-30-10 (200 g m^{-3}). Para assegurar o vigor vegetativo necessário, foram aplicadas duas coberturas de ureia (duas gramas por litro de solo) ao longo do desenvolvimento das plantas

Os genótipos de capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) foram coletadas em áreas comerciais com reclamações de falhas de controle de capim-pé-de-galinha, denominadas de Moresco, Barbosa e Figueiredo.

Cerca de 10 sementes de cada biótipo foram semeadas na superfície de cada vaso. Após a emergência das plantas foi realizado o desbaste e selecionadas apenas a melhor planta por vaso. Quando atingiram o estágio de três perfilhos foi realizada a aplicação dos herbicidas, (Roundup Transorb) (Select 240 EC) (Verdict-max) e duas misturas: (Roundup Transorb + Select 240 EC) e (Roundup Transorb + (Verdict-max) todos em suas respectivas doses recomendada. Ao total foram semeados uma

quantidade de 1000 vasos, dessa forma selecionarmos as melhores plantas para avaliação e descartamos as inferiores.



Figura 2. Distribuição das unidades experimentais em casa de vegetação, organizadas para o ensaio com biótipos de *Eleusine indica*.

Os vasos submetidos a dose e resposta foram irrigados de forma automática pelo menos uma vez por dia e mantidos sempre em casa de vegetação, retirados apenas para aplicação e depois de 24 horas realocados dentro da casa de vegetação. Foram aplicadas nove doses diferentes conforme demonstrado na tabela 3.

Tabela 3. Amplitude de doses utilizadas para cada herbicida avaliado.

Herbicida	Volume de calda 150L ha ⁻¹								
	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Glifosato ¹	125	250	500	1.000	2.00	4.00	8.00	16.00	32.00
					0	0	0	0	0
Cletodim ²	13,5	27	54	108	216	432	864	1.728	3.456
Haloxifope-R-metílico ³	7.5	15	30	60	120	240	480	960	1920

Produto comercial: Roundup Transorb¹; Select 240 EC²; Verdict Max³



Figura 3. Organização dos vasos para a etapa de pulverização dos tratamentos de dose-resposta em ambiente aberto, precedendo o retorno à casa de vegetação.

A segunda parte do trabalho que foi constituído pelas imagens espectrais, os vasos permaneceram na casa de vegetação, e posteriormente quando estava apto para aplicação, com três perfilhos foram levados para fora da casa de vegetação e mantidos a campo aberto até o final das avaliações e irrigados diariamente de forma manual.



Figura 4. Biótipos de *Eleusine indica* posicionados para o ensaio de coleta de dados espectrais e imagens em ambiente externo.

As aplicações foram feitas com pulverizador costal equipado com pontas XR11002, pressurizado com CO₂ proporcionando vazão constante e volume de 150 L ha⁻¹. As aplicações foram realizadas com equipamentos de proteção individual, seguindo as normas de segurança.

As avaliações iniciaram-se nos três dias consecutivos após a aplicação, e posteriormente as avaliações foram realizadas em dias alternados, e horários alternados. Totalizando 8 avaliações. Foi utilizada a câmera multiespectral (câmera termal Flir C2), a câmera foi regulada com a emissividade na superfície de 0,95 para posterior processamento de todas as imagens.

A avaliação de eficácia foi realizada aos 38 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA) por meio de notas de controle atribuídas visualmente a cada unidade experimental com o auxílio da escala de notas proposta pela Asociación Latinoamericana de Malezas (Alam 1974), onde 0% corresponde a nenhuma injúria e 100% a morte total da planta.

Também foi realizada a avaliação de biomassa seca, por meio da coleta da parte aérea das plantas que sobreviveram a aplicação de cada herbicida para secagem em estufa a 65°C até atingir o ponto de massa constante, posterior a isso o material seco foi pesado em balança de precisão para determinação da biomassa seca realizando uma média das três plantas.

Com o intuito de padronizar os dados de acúmulo de biomassa de todos os biótipos para a construção das curvas de dose-resposta, a massa seca obtida em cada unidade experimental foi convertida em porcentagem de redução de biomassa (RD) em relação à testemunha sem aplicação, utilizando-se a seguinte equação.

$$Rd = 100 - \frac{\text{Biomassa seca das plantas tratadas (g vaso)}}{\text{Biomassa seca da testemunha (g vaso)}} \times 100$$

Os dados de porcentagem de controle visual e de redução de biomassa foram submetidos à análise de regressão não-linear, ajustando-se o modelo log-logístico de quatro parâmetros (Ritz et al., 2015), com o auxílio do pacote *drc* (Dose-Response Curves) no software R versão 4.0.2 (R Core Team, 2020), conforme a equação abaixo.

$$f(x) = c + \frac{d-c}{1 + \exp(b(\log(x) - \bar{e}))}$$

Em que: $f(x)$ representa a porcentagem de controle visual ou a redução de biomassa em função da dose do herbicida (x); b corresponde à declividade da curva em torno do ponto de inflexão; c e d são os limites inferior e superior do modelo, respectivamente, os quais foram fixados em 0 e 100; já a letra e representa a dose necessária para proporcionar 50% de resposta biológica da variável em estudo. Os valores de C50 e

C80 (doses necessárias para obter 50% e 80% de controle visual) foram estimados matematicamente por meio da função ED integrada ao pacote drc.

Para avaliar a associação entre as variáveis fisiológicas e de eficácia com o acúmulo de biomassa dos biótipos avaliados aos 17 dias após a aplicação (DAA), os dados foram submetidos à Análise de Correlação Linear de Pearson (r). Foram correlacionadas de forma independente a temperatura foliar média (°C) e o índice de controle visual (%) com a massa seca final (g). Os tratamentos foram identificados pelas siglas T1 a T6 (T1: Testemunha; T2: Roundup Transborb; T3: Select 240 EC; T4: Verdict; T5: Roundup + Select; T6: Roundup + Verdict). A significância do coeficiente foi avaliada pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$). As análises e o gráfico de dispersão foram realizados no software R.

Já na avaliação temporal da temperatura foliar dos biótipos, os dados coletados nos oito períodos (0 a 17 DAA) foram agrupados por tratamento e horário, utilizando-se estatística descritiva com determinação de médias e Erro Padrão da Média para a dispersão dos dados. Os tratamentos foram identificados pelas siglas T1 a T6 (T1: Testemunha; T2: Roundup Transborb; T3: Select 240 EC; T4: Verdict; T5: Roundup + Select; T6: Roundup + Verdict). As análises e o gráfico foram realizadas utilizando os pacotes *dplyr* e *ggplot2* no software R.

Como indicador do status fisiológico, transpiratório e hídrico das plantas após a exposição aos tratamentos químicos, determinou-se o contraste térmico foliar, expresso por Delta T. A utilização do Delta T fundamenta-se na necessidade de normalizar os dados térmicos brutos obtidos pela câmera multiespectral (Flir C2), minimizando as interferências das oscilações microclimáticas ambientais como temperatura do ar, umidade relativa e radiação solar ocorridas entre as tomadas de imagens de cada repetição.

O cálculo do contraste térmico para cada unidade experimental foi obtido de forma individualizada aos 17 dias após a aplicação (DAA), seguindo a equação matemática adaptada para ensaios de eficácia biológica de herbicidas:

$$\Delta T = T_{\text{tratamento}} - T_{\text{testemunha}}$$

Delta T, é o contraste térmico foliar do biótipo, $T_{\text{tratamento}}$, é a temperatura foliar média obtida na planta que recebeu a aplicação do herbicida, $T_{\text{testemunha}}$, é a temperatura foliar média da planta testemunha do respectivo biótipo, avaliada no mesmo bloco e intervalo de tempo.

Os valores médios de temperatura de cada planta foram extraídos por meio do processamento digital das imagens infravermelhas com o auxílio de software de análise térmica, delimitando-se a área foliar útil de cada vaso para a exclusão do ruído de fundo proveniente do solo e da estrutura dos vasos. Valores de Delta T próximos a zero ou negativos indicam a manutenção da taxa transpiratória estomática, enquanto valores

substancialmente positivos indicam o bloqueio transpiratório decorrente do estresse severo ou morte celular.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resposta ao Cletodim

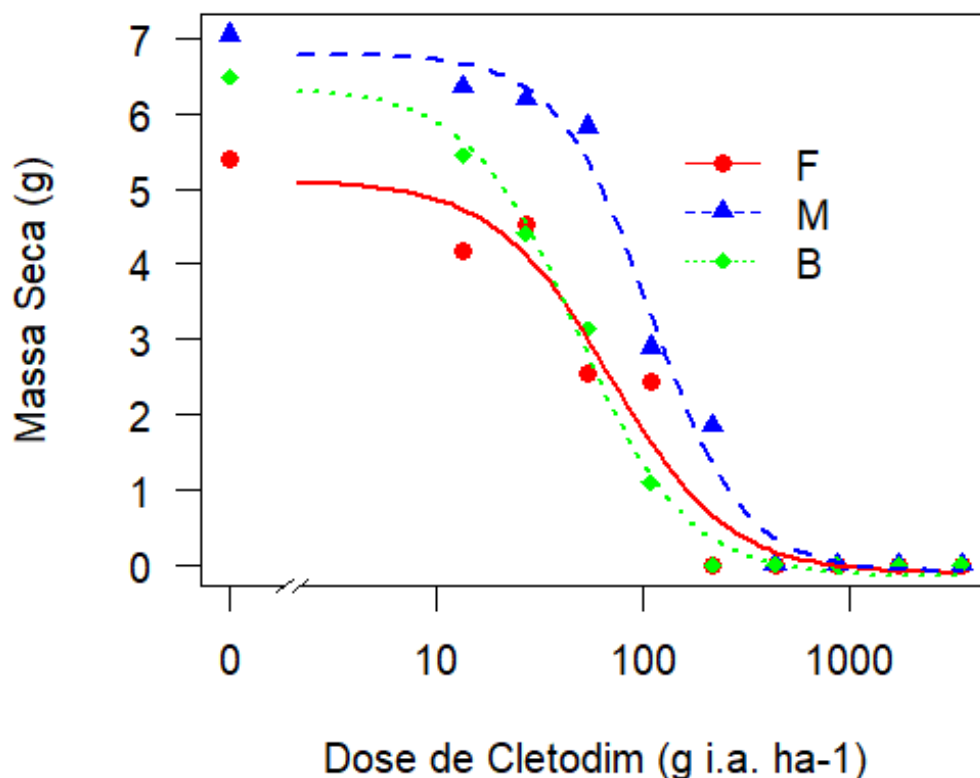


Figura 5. Curvas de dose resposta para o controle dos biótipos tratados com cletodim aos 38 DAA. Urutai 2026.

Os resultados obtidos para o herbicida cletodim (Grupo Químico DIM) demonstraram variações significativas na sensibilidade do capim-pé-de-galinha entre os diferentes biótipos estudados. O modelo log-logístico ajustado permitiu estimar com precisão matemática as doses necessárias para reduzir o acúmulo de biomassa seca das plantas em 50% (GR₅₀) e em 80% (GR₈₀), as quais encontram-se sistematizadas na Tabela 4.

Tabela 4. Doses de cletodim necessárias para a redução de 50% (GR₅₀) e 80% (GR₈₀) e respectivos fatores de resistência (FR) da massa seca foliar de biótipos de *Eleusine indica*. Valores determinados por modelo log-logístico de sigmoide.

Biótipo	GR ₅₀ (g i.a. ha ⁻¹)	FR _{GR50}	GR ₈₀ (g i.a. ha ⁻¹)	FR _{GR80}
Figueiredo	69,53	1	171,1	1
Barbosa	48,31	0,69	111,94	0,65
Moresco	108,59	1,56	222,97	1,3

Os resultados de dose-resposta revelaram uma variação na sensibilidade dos biótipos de capim-pé-de-galinha ao cletodim. O biótipo Moresco apresentou-se como o mais tolerante, com uma GR_{50} de 108,59 g i.a. ha, valor significativamente maior do que os observados para os biótipos Barbosa 48,31 g i.a. ha, e Figueiredo 69,53 g i.a. ha. Não houve diferença estatística na sensibilidade entre os biótipos Barbosa e Figueiredo na GR_{50} .

Ao avaliar o nível de 80% de redução de massa seca, o biótipo Moresco (222,97 g i.a. ha) manteve-se significativamente mais tolerante que o biótipo Barbosa (111,94 g i.a. ha), porém assemelhou-se estatisticamente ao biótipo Figueiredo (171,10 g i.a. ha)

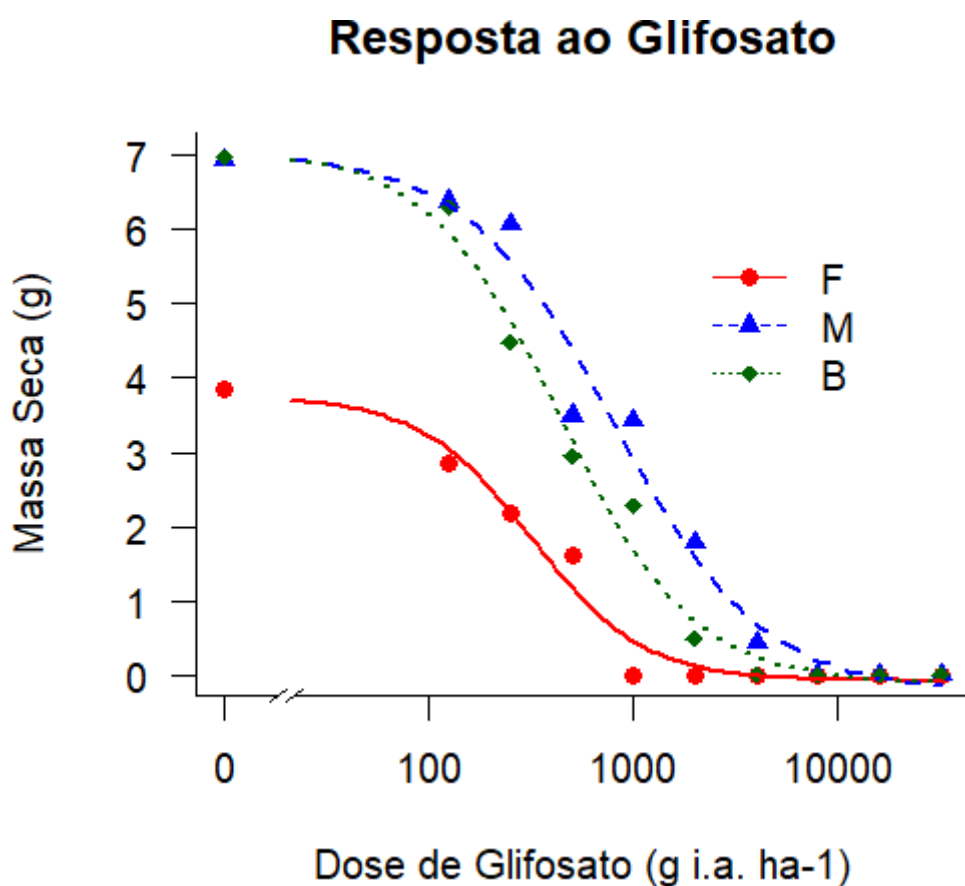


Figura 6. Curvas de dose resposta para o controle dos biótipos tratados com glifosato aos 38 DAA. Urutaí 2026.

De acordo com a figura seis a análise conjunta dos resultados para os herbicidas avaliados revela um cenário alarmante e de extrema complexidade para o manejo de capim-pé-de-galinha, especialmente na região do Cerrado, onde o glifosato representa a base do manejo químico de plantas daninhas. No ensaio com o herbicida glifosato o biótipo Figueiredo confirmou sua condição de suscetibilidade, apresentando uma GR_{50} de 319,13 g i.a. ha, patamar que se encontra dentro das doses comerciais recomendadas para o controle efetivo da espécie em estádios iniciais. Em contrapartida, os biótipos Barbosa e Moresco confirmaram sua resistência.

Os índices de redução de massa seca (GR_{50} e GR_{80}) estão expostos na tabela 5.

Tabela 5. Doses de glifosato necessárias para a redução de 50% (GR_{50}) e 80% (GR_{80}) e respectivos fatores de resistência (FR) da massa seca foliar de biótipos de *Eleusine indica*.

Biótipo	GR_{50} (g i.a. ha ⁻¹)	FR_{GR50}	GR_{80} (g i.a. ha ⁻¹)	FR_{GR80}
Figueiredo	319,13	1	765,2	1
Barbosa	442,07	1,39	1251,53	1,64
Moresco	812,14	2,54	2553,61	3,34

O biótipo Barbosa exigiu uma dose crítica de 1251, 53 g i.a. ha, para atingir 80% de redução de massa seca, superando a capacidade de controle das doses regulamentares de bula. O cenário se agrava drasticamente ao avaliar o biótipo Moresco, cuja GR_{50} atingiu a marca de 812,14 g i.a. ha. Este valor representa quase três vezes a dose de referência do biótipo suscetível, evidenciando que a aplicação isolada de glifosato resultará em escapes massivos na lavoura. Essas plantas remanescentes não apenas competirão diretamente pelos recursos do ambiente, mas completarão seu ciclo reprodutivo, reabastecendo o banco de sementes do solo com indivíduos resistentes e gerando prejuízos econômicos diretos ao produtor rural.

Resposta ao Haloxifope

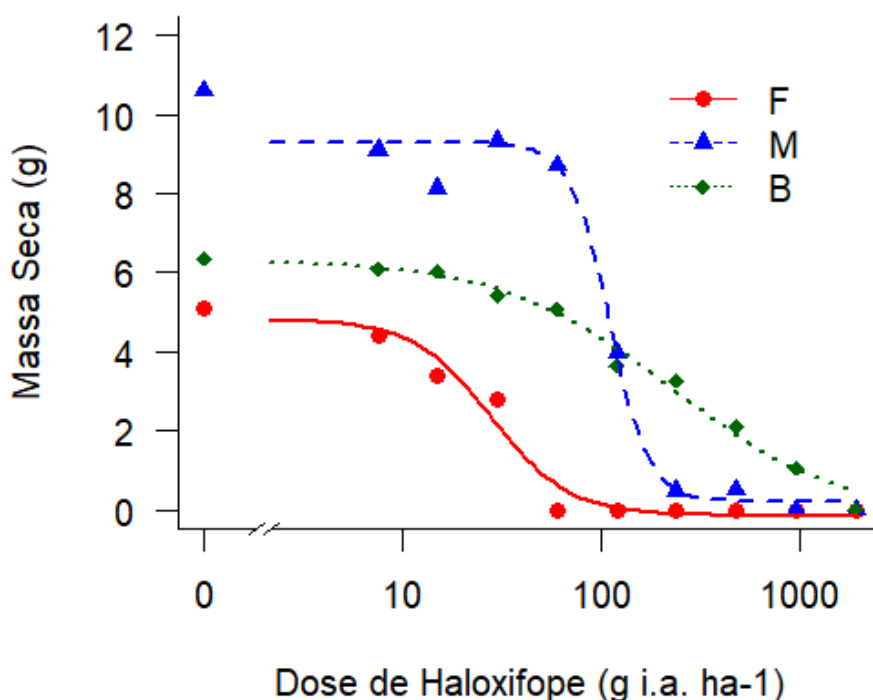


Figura 7. Curvas de dose resposta para o controle dos biótipos tratados com Haloxifope aos 38 DAA. Urutai 2026

A resposta biológica ao haloxifope-p-metilico (Grupo Químico FOP) revelou um comportamento dinâmico e de extrema relevância científica para a compreensão dos

mecanismos de resistência cruzada na enzima ACCase. Os dados analíticos estão consolidados na Tabela 6.

Tabela 6. Doses de haloxifope-p-metilico necessárias para a redução de 50% (GR₅₀) e 80% (GR₈₀) e respectivos fatores de resistência (FR) da massa seca foliar de biótipos de *Eleusine indica*.

Biótipo	GR ₅₀ (g i.a. ha ⁻¹)	FR _{GR50}	GR ₈₀ (g i.a. ha ⁻¹)	FR _{GR80}
Figueiredo	28,04	1	52,5	1
Barbosa	230,79	8,23	925,88	17,64
Moresco	110,67	3,95	151,8	2,89

Enquanto o biótipo Figueiredo confirmou sua condição de plena suscetibilidade, os dados obtidos para o biótipo Moresco mostrou uma expressiva perda de sensibilidade a campo, caracterizando um quadro de resistência cruzada dentro deste mecanismo de ação.

O biótipo Figueiredo demonstrou ser altamente suscetível ao graminicida, apresentando uma GR₅₀ de apenas 28,04 g i.a. ha. Adotando-o como o padrão de suscetibilidade de referência, constatou-se que o biótipo Moresco exigiu uma dose de 110,67 g i.a. ha, para reduzir 50% de sua biomassa conforme a figura 6.

Essa diferença foi altamente significativa pelo teste de razões de doses ($p < 0,0001$), comprovando estatisticamente que a população do Moresco possui um nível superior de tolerância ao Haloxifope.

Quando os resultados são projetados para o nível de controle exigido na realidade agrícola (GR₈₀), onde busca-se uma supressão severa da biomassa para evitar o desenvolvimento da planta daninha, o cenário torna-se ainda mais crítico. O biótipo Moresco demandou uma dose de 151,80 g i.a. ha, para atingir 80% de controle, um valor quase três vezes superior à necessidade do biótipo suscetível (52,50 g i.a. ha). Esse comportamento indica que as doses regulamentares de bula aplicadas de forma isolada tendem a falhar no campo contra o biótipo Moresco, gerando escapes significativos. Essas plantas sobreviventes continuarão competindo por recursos como água, luz e nutrientes, além de completarem seu ciclo reprodutivo e reabastecerem o banco de sementes do solo com indivíduos resistentes.

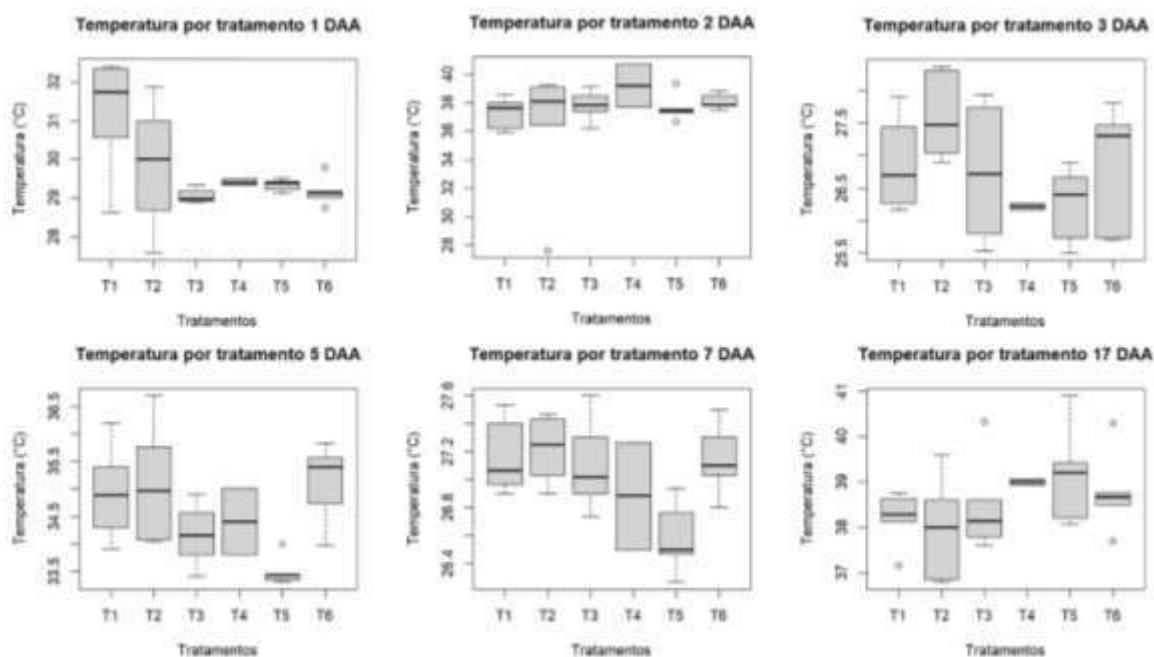


Figura 8. Distribuição e dispersão da temperatura foliar (°C) do biótipo Barbosa representada por diagramas de caixas (boxplots) ao longo dos períodos de avaliação. T1: Testemunha; T2: Roundup; T3: Select; T4: Verdict; T5: Roundup + Select ; T6: Roundup + Verdict.

Tabela 7. Temperatura foliar média (°C) e erro padrão da média de biótipo Barbosa avaliados em diferentes dias após a aplicação (DAA) de tratamentos herbicidas isolados e em misturas. T1: Testemunha; T2: Roundup; T3: Select; T4: Verdict; T5: Roundup + Select; T6: Roundup + Verdict.

DAA do biótipo Barbosa																					
	1			2			3			5			7			16			17		
	Média	Erro	*	Média	Erro	*	Média	Erro	*	Média	Erro	*	Média	Erro	*	Média	Erro	*	Média	Erro	*
T1	31,25	0,588	c	37,3	0,422	a	26,8	0,247	ab	34,9	0,333	b	27,1	0,148	b	40,3	0,93	b	38,2	0,232	a
T2	29,87	0,654	abc	36,4	1,81	a	27,6	0,283	b	35,1	0,434	b	27,2	0,093	b	40,2	0,873	b	38	0,434	ab
T3	29,03	0,076	a	37,8	0,415	a	26,8	0,407	ab	34,1	0,239	ab	27,1	0,149	b	38	0,187	b	38,4	0,408	ab
T4	29,44	0,064	bc	39,2	1,52	a	26,3	0,2	a	34,4	0,672	ab	26,8	0,364	ab	39	2,28	ab	39	0,067	b
T5	29,35	0,075	b	37,7	0,451	a	26,2	0,29	a	33,5	0,13	a	26,6	0,121	a	37,1	0,2	a	39,2	0,511	ab
T6	29,19	0,147	ab	38,1	0,248	a	26,8	0,48	ab	35,1	0,324	b	27,1	0,111	b	36,6	0,345	a	38,8	0,422	ab

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna (dentro de cada DAA) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p > 0,05$). Os valores de "Erro" indicam o Erro Padrão da Média (se).

A avaliação da temperatura foliar média (°C) ao longo dos dias após a aplicação (DAA) funcionou como um indicador fisiológico indireto da taxa de transpiração. Os dados coletados nas 7 datas experimentais estão detalhados na figura 9.

Efeito do Ambiente (Horário) vs. Tratamentos Herbicida

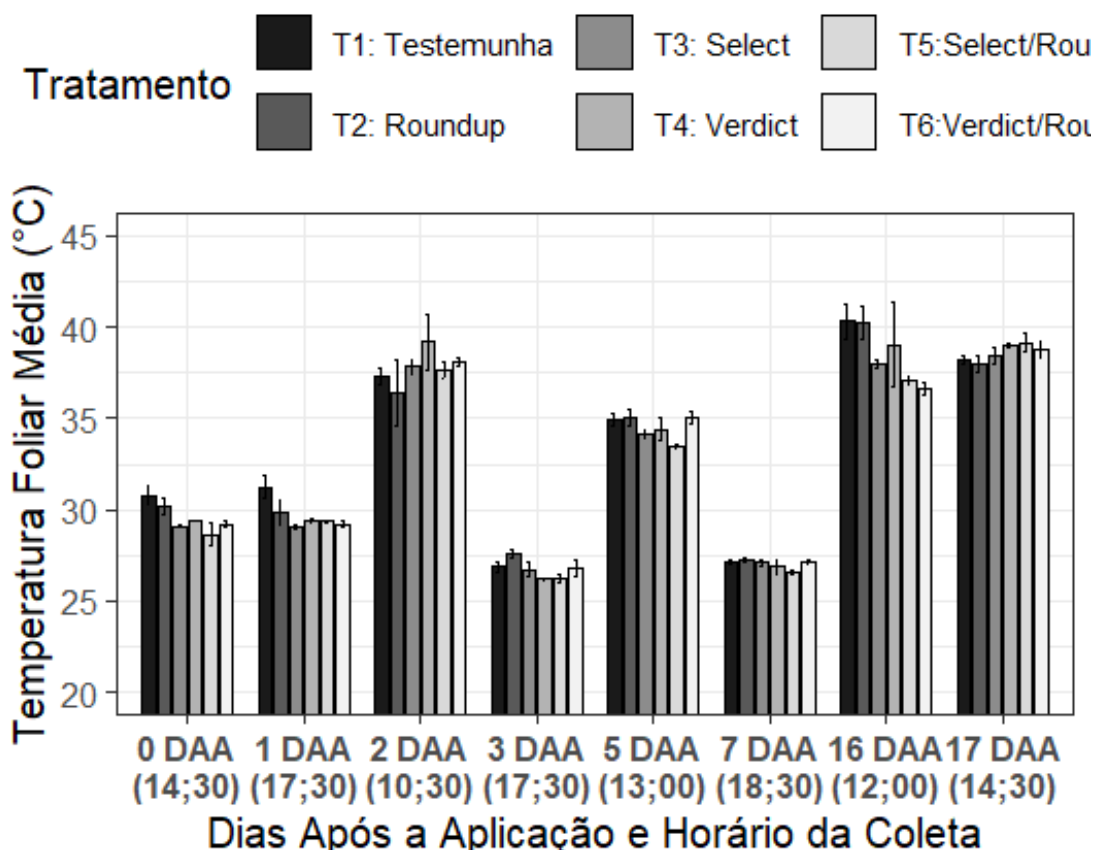


Figura 9. Temperatura foliar média (°C) do biótipo Barbosa submetido a diferentes tratamentos herbicidas isolados e em misturas ao longo de oito períodos de avaliação (0, 1, 2, 3, 5, 7, 16 e 17 DAA).

A variação térmica observada entre as datas de amostragem reflete, majoritariamente, a influência direta das condições microclimáticas do ambiente e do horário de coleta, e não apenas o estresse químico isolado. No 3 DAA, sob condições de céu praticamente sem a interferência do sol a temperatura amenizada às 17:30, a temperatura foliar geral estabilizou-se na faixa entre 26°C e 27°C, demonstrando transpiração estomática em todos os grupos de plantas.

Entretanto, nos períodos finais de avaliação (16 e 17 DAA), coletados sob forte radiação e temperaturas ambientes elevadas, as plantas sofreram estresses drásticos e distintos. No 17 DAA (14:30h), nota-se um emparelhamento estatístico das médias de temperatura entre os tratamentos (variando entre 38°C e 39,2°C). As plantas tratadas com Select isolado (T3) e a mistura (T5) já se encontravam em estado severo de necrose celular. Sem tecido vivo, o processo de transpiração ativa cessou, fazendo com que as folhas mortas absorvem e dissipam calor de forma estritamente mecânica, equilibrando-se à temperatura ambiente.

Paralelamente, o biótipo Barbosa (B), resistente ao Verdict (T4), manteve-se verde, vigoroso e fisiologicamente ativo mesmo após o estresse químico. Sob o calor extremo de 14:30h do 17 DAA, essas plantas transpiraram intensamente para refrigerar seu tecido foliar, contudo, devido à altíssima demanda por evapotranspiração imposta

pelo ambiente, estabilizaram suas leituras térmicas na mesma faixa dos tecidos desidratados (39,0°C).

Temperatura vs. Acúmulo de Biomassa

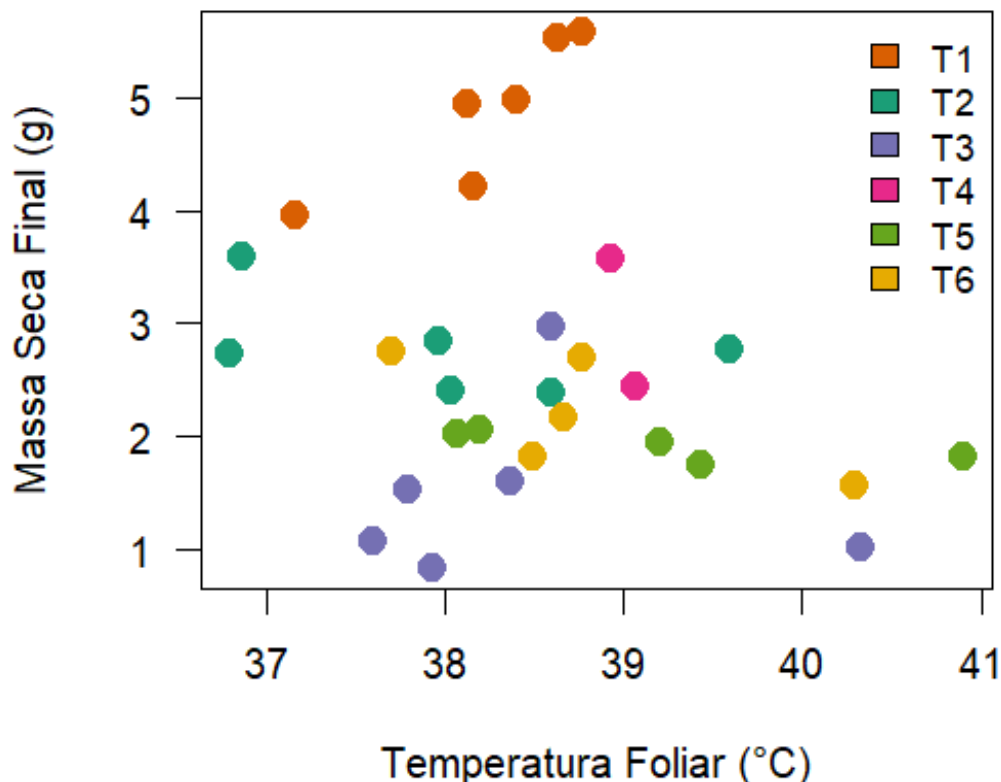


Figura 10. Análise de correlação linear entre a temperatura foliar média (°C) e o acúmulo de biomassa seca final (g) do biótipo Barbosa submetidos aos tratamentos T1: Testemunha; T2: Roundup; T3: Select; T4: Verdict; T5: Roundup + Select; T6: Roundup + Verdict aos 17 dias após a aplicação (DAA).

A análise conjunta da temperatura foliar e do acúmulo de massa seca final revela o impacto real dos mecanismos de dessecação química sobre a integridade celular e fisiológica dos biótipos de *Eleusine indica*. O gráfico de dispersão evidencia uma clara tendência de agrupamento dos dados em função da eficácia de cada tratamento herbicida, permitindo correlacionar o estresse térmico sofrido pela planta com a sua capacidade de sobrevivência e acúmulo de tecidos.

Os tratamentos que exerceram controle severo e rápido, como o cletodim isolado (T3) e as misturas contendo glifosato + cletodim (T5), resultaram nos menores índices de biomassa seca final. Nestas plantas, a rápida destruição das membranas celulares e a interrupção da divisão meristemática provocada pela inibição da ACCase levaram à necrose foliar completa antes do término das avaliações. Conseqüentemente, no período crítico de calor (17 DAA), essas plantas já se comportavam como matéria orgânica desidratada. A ausência de transpiração estomática ativa fez com que suas folhas absorvessem a radiação infravermelha, elevando sua temperatura física de forma passiva 38,5°C, associando baixa biomassa com alta leitura térmica.

Em contrapartida, o comportamento do biótipo Barbosa exibiu uma resposta contrastante quando submetido ao haloxifope-p-metilico (T4 - Verdict). Devido ao elevado nível de resistência a este mecanismo de ação (FOP), as plantas tratadas mantiveram altos índices de massa seca final, assemelhando-se estatisticamente à testemunha sem aplicação (T1). Fisiologicamente, a manutenção da biomassa verde e funcional permitiu que o biótipo continuasse a realizar trocas gasosas e fotossíntese. Sob estresse microclimático severo, essas plantas ativaram ao máximo a abertura estomática para realizar o resfriamento por meio da transpiração. Contudo, devido à saturação do sistema hídrico sob alta demanda evaporativa do ambiente, essas plantas também registraram temperaturas foliares elevadas (próximas a 39,0°C).

Controle Visual vs. Acúmulo de Biomassa

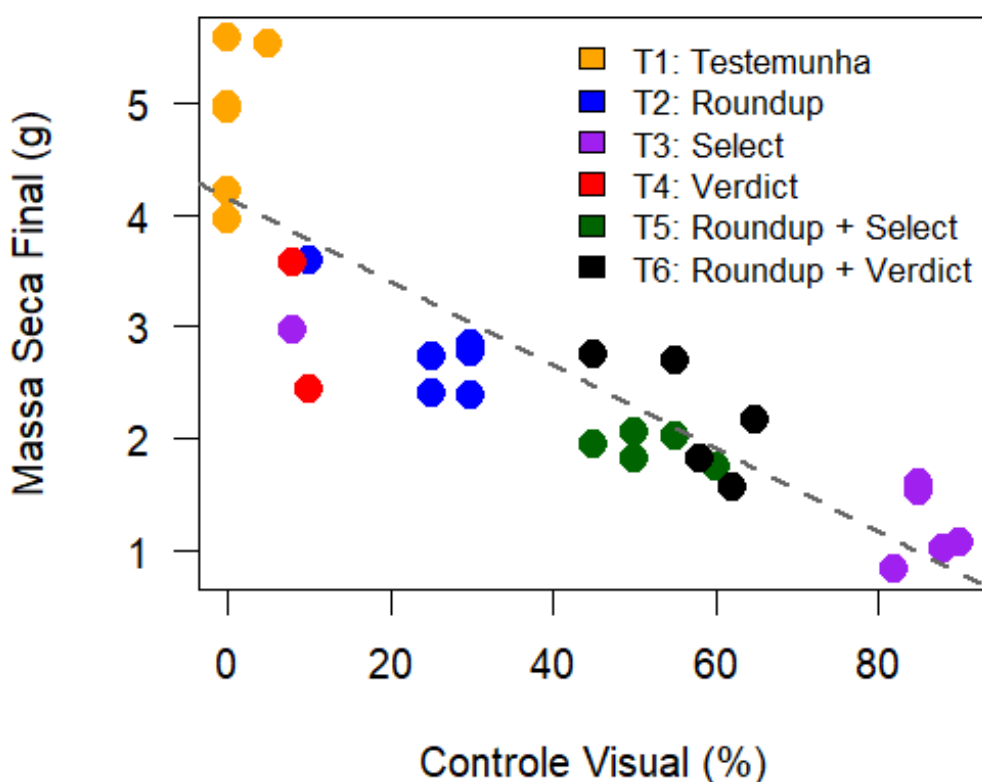


Figura 11. Análise de correlação linear de Pearson entre o índice de controle visual (%) e o acúmulo de biomassa seca final (g) do biótipo Barbosa aos 17 dias após a aplicação (DAA) de tratamentos herbicidas.

A fim de validar o rigor metodológico e a precisão das avaliações visuais de fitofotoxidade executadas a campo, foi realizado a análise de correlação linear de Pearson entre as variáveis de controle visual (%) e a massa seca final (g) aos 17 DAA. Os dados revelaram uma correlação negativa altamente significativa, indicando que o incremento linear nas notas de controle visual reflete, com clareza, o declínio proporcional no acúmulo de biomassa das plantas.

O agrupamento dos dados em função dos tratamentos com os herbicidas mostra o comportamento biológico dos biótipos. No quadrante inferior direito do gráfico, observa-se a concentração das repetições associadas ao cletodim isolado (T3) e às

misturas com glifosato (T5). Nesses grupos, a elevada eficácia biológica dos herbicidas traduzida em notas visuais de controle próximas a 100% resultou em necrose dos tecidos e interrupção drástica do crescimento vegetal, reduzindo a massa seca ao limite mínimo. Esse comportamento confirma que a percepção visual de dessecação quantificada a campo corresponde fielmente à destruição real de tecidos vegetais.

Em contrapartida, as repetições do biótipo Barbosa submetidas ao haloxifope-p-metilico (T4 - Verdict) posicionaram-se com um controle visual próximo a 0% e elevada massa seca. Como esse biótipo possui resistência genética consolidada ao mecanismo de ação dos FOPs, as membranas celulares e o aparato fotossintético mantiveram-se íntegros. O crescimento contínuo e a ausência de sintomas de injúria justificam o escape e o acúmulo de biomassa idêntico ao da testemunha sem aplicação (T1).

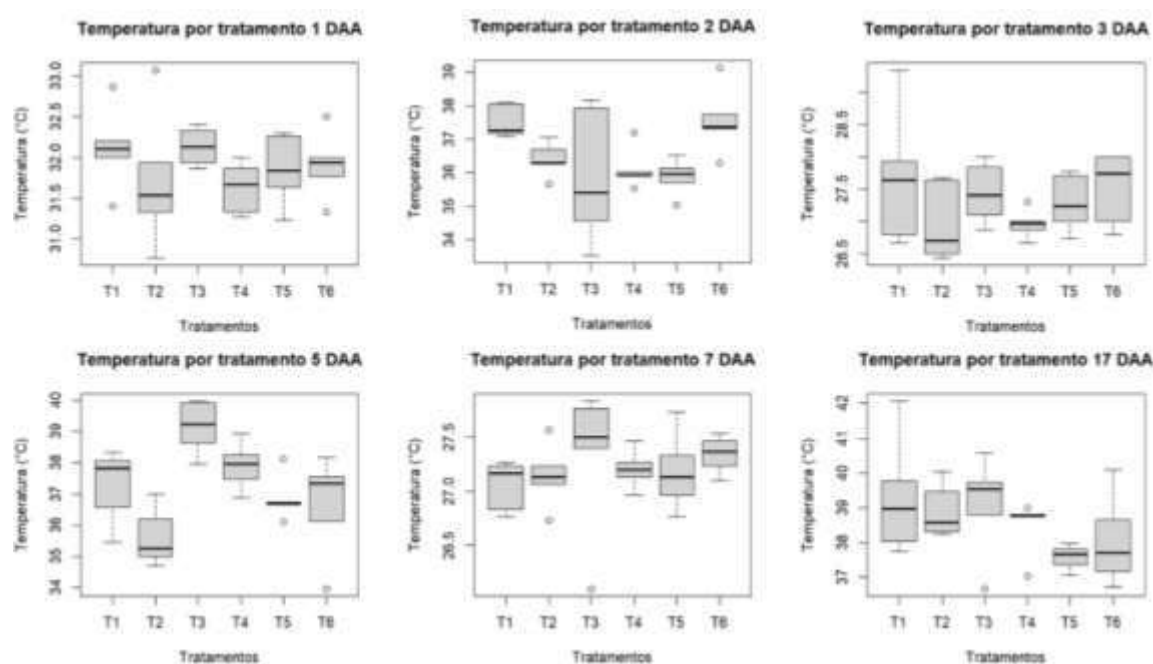


Figura 12. Distribuição e dispersão da temperatura foliar (°C) do biótipo Moresco representada por diagramas de caixas (boxplots) ao longo dos períodos de avaliação. T1: Testemunha; T2: Roundup; T3: Select; T4: Verdict; T5: Roundup + Select ; T6: Roundup + Verdict.

Tabela 8. Temperatura foliar média (°C) e erro padrão da média de biótipo Moresco avaliados em diferentes dias após a aplicação (DAA) de tratamentos herbicidas isolados e em misturas. T1: Testemunha; T2: Roundup; T3: Select; T4: Verdict; T5: Roundup + Select; T6: Roundup + Verdict.

Dias após a aplicação do biótipo Moresco

	1			2			3			5			7			16			17		
	Média	Erro	*	Média	Erro	*	Média	Erro	*	Média	Erro	*	Média	Erro	*	Média	Erro	*	Média	Erro	*
T1	31,6	0,14	a	35,87	0,236	a	26,96	0,1	a	35,6	0,42	a	27,1	0,11	a	38,82	0,33	a	37,6	0,16	a
T2	31,7	0,38	a	35,92	0,966	abc	26,99	0,27	a	36,6	0,74	abc	27,2	0,13	a	39,6	0,554	ab	38,1	0,601	ab
T3	31,9	0,2	a	36,12	0,246	ab	27,29	0,2	a	36,9	0,34	ab	27,2	0,17	a	40,14	1,046	ab	38,5	0,361	ab
T4	31,9	0,19	a	36,41	0,362	ab	27,44	0,21	a	37,3	0,54	abc	27,2	0,08	a	40,2	0,36	ab	38,9	0,355	b
T5	32,1	0,23	a	37,54	0,226	c	27,51	0,25	a	37,9	0,35	bc	27,3	0,32	a	41,02	0,696	ab	39,1	0,661	ab
T6	32,1	0,11	a	37,58	0,489	bc	27,67	0,48	a	39,1	0,38	c	27,3	0,08	a	42,39	0,802	b	39,3	0,776	ab

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna (dentro de cada DAA) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p > 0,05$). Os valores de "Erro" indicam o Erro Padrão da Média (se).

Os dados de temperatura foliar média obtidos para o biótipo Moresco ao longo das avaliações expõem uma clara distinção entre a influência imediata das condições microclimáticas do ambiente e o posterior efeito induzido pelos herbicidas. Nos primeiros sete dias após a aplicação (1, 2, 3, 5 e 7 DAA), observa-se uma acentuada estabilidade e homogeneidade estatística entre os tratamentos. No 1, 3 e 7 DAA, todas as médias térmicas permaneceram agrupadas sob a mesma letra "a", evidenciando que, nessas fases iniciais, as plantas daninhas ainda mantinham integridade celular e capacidade de termorregulação ativa equivalente, independentemente do mecanismo de ação aplicado. As flutuações ocorridas nessas datas, como a queda acentuada no 3 DAA para médias próximas a 27 °C e o pico geral no 2 DAA para patamares de 35 °C a 37 °C refletem estritamente as variações de radiação solar e temperatura do ar registradas nos horários de coleta.

O desmembramento estatístico e a quebra dessa uniformidade inicial tornam-se evidentes nas épocas finais de amostragem, conduzidas sob forte estresse radiativo. Ao atingir o 16 DAA (avaliação realizada às 12:00h), o tratamento composto por Roundup Transorb + Verdict Max (T6) registrou o maior pico térmico absoluto do experimento, atingindo a média de 42,39 °C e sendo o único a diferenciar-se significativamente (letra b) do padrão de refrigeração mantido pela testemunha sem aplicação (T1), que permaneceu a 38,82 °C (letra a).

Do ponto de vista fisiológico, esse aquecimento nas folhas do T6 decorre do estresse sistêmico provocado pelos herbicidas, que força a planta a fechar os estômatos. No entanto, por se tratar de um biótipo geneticamente resistente à molécula, esse bloqueio não induziu o colapso celular imediato ou dessecação rápida dos tecidos vegetativos. Esse valor de 42,39 °C expressa o elevado custo metabólico exigido da planta para tolerar a dose do herbicida, mantendo suas estruturas foliares sadias o

suficiente para reter calor sem morrer, justificando os baixos níveis de controle visual observados no campo para este tratamento isolado.

Já os tratamentos contendo Roundup (T2) Select (T3), bem como o Select + Roundup (T5) e o Verdict (T4), exibiram um comportamento estatístico intermediário (letra ab) aos 16 DAA, com médias que variaram de 39,60 °C a 41,02 °C. Essa elevação térmica, que persistiu de forma consistente até o 17 DAA (onde o T4 se isolou com a letra b a 38,90 °C), provém de um processo irreversível. Nesses grupos, a agressividade e a eficácia fitotóxica das moléculas, com destaque para a ação dos inibidores de ACCase destruíram as membranas celulares e paralisaram por completo o aparato transpiratório das plantas daninhas. Sem a capacidade de realizar a refrigeração por evapotranspiração, as folhas dessecadas passaram a se comportar como corpos físicos inertes expostos ao sol, acumulando calor e confirmando a eficácia letal das misturas sobre o biótipo Moresco.

Efeito do Ambiente (Horário) vs. Tratamentos Herbicida

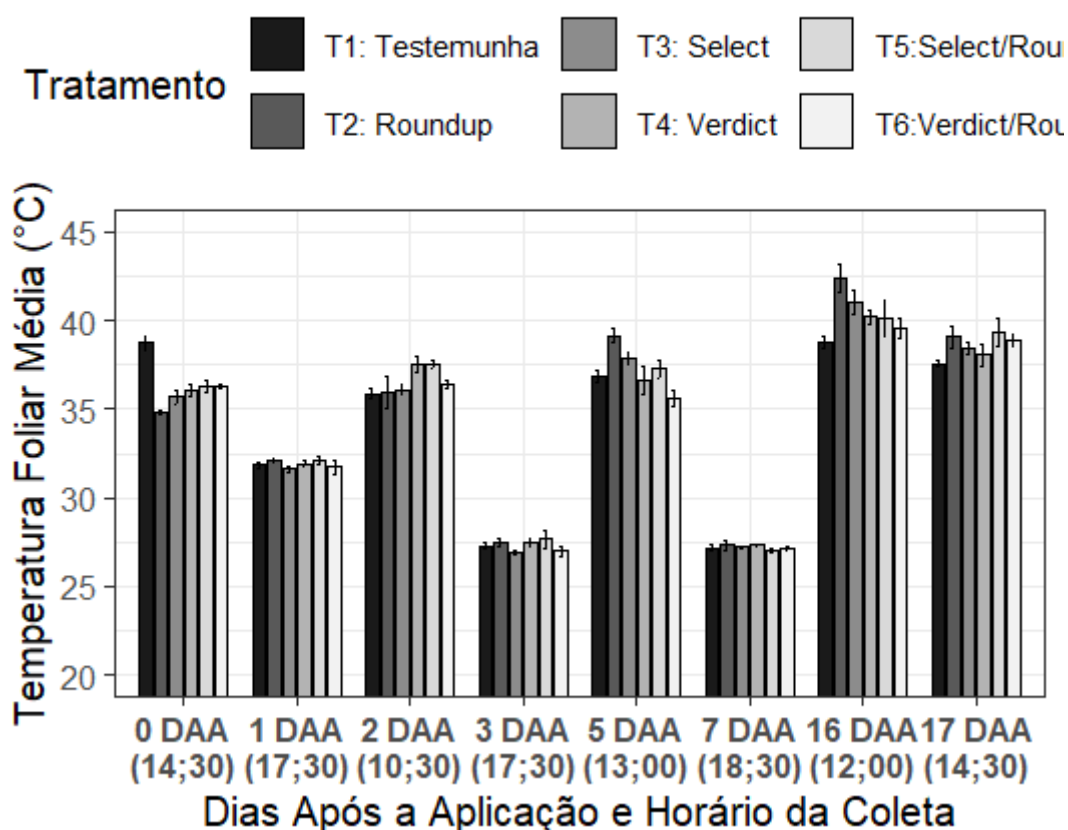


Figura 13. Temperatura foliar média (°C) do biótipo Moresco submetido a diferentes tratamentos ao longo de oito períodos de avaliação (0, 1, 2, 3, 5, 7, 16 e 17 DAA).

A variação térmica observada no biótipo Moresco entre as datas de amostragem reflete, a influência direta das condições microclimáticas do ambiente e do horário de

coleta no momento da leitura, interagindo com o avanço da fitotoxicidade dos herbicidas. Nos períodos iniciais, como no 3 DAA, sob condições de radiação solar amenizada no final da tarde (coleta às 17:00 h), a temperatura foliar geral de todos os tratamentos estabilizou-se em patamares baixos, na faixa entre 25,9 °C e 26,4 °C. Essa homogeneidade térmica demonstra que, nas primeiras 72 horas, os processos de translocação e o estresse celular ainda não haviam colapsado a capacidade de termorregulação estomática basal dos grupos de plantas.

Entretanto, nas avaliações finais (16 e 17 DAA), conduzidas sob condições de forte radiação solar e elevadas temperaturas ambientes, as plantas foram submetidas a estresses drásticos, revelando respostas fisiológicas totalmente distintas entre os tratamentos. No 17 DAA, observa-se um emparelhamento estatístico das médias de temperatura foliar na maior parte dos tratamentos herbicidas, que oscilaram de forma compacta entre 38,8 °C e 39,8 °C.

Temperatura vs. Acúmulo de Biomassa (Biótipo Moresco)

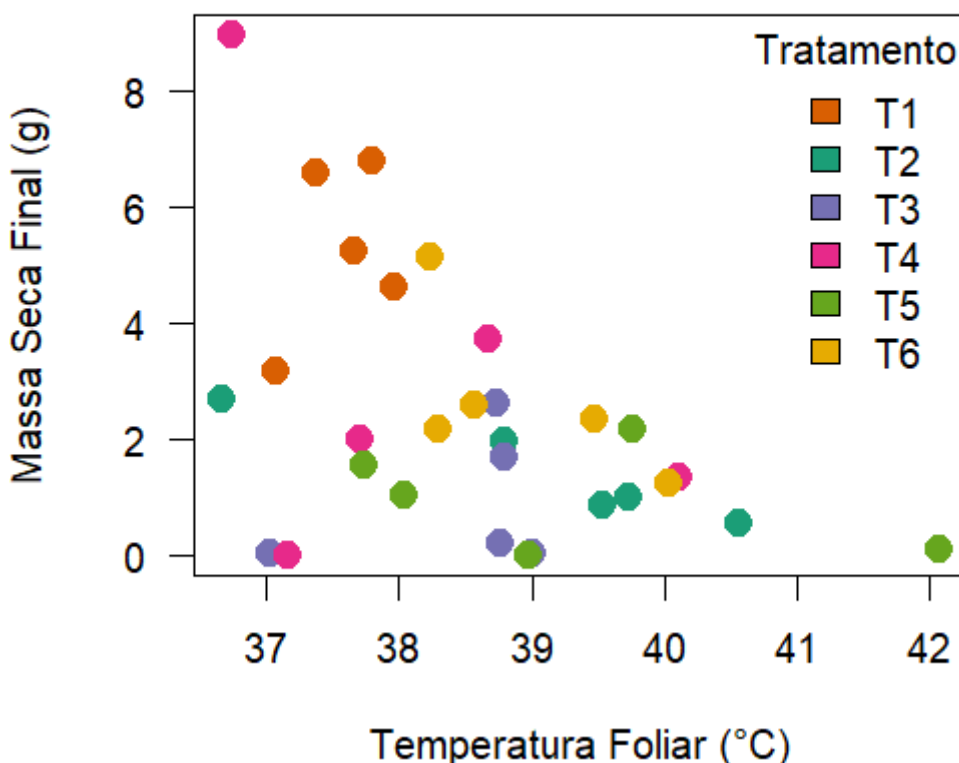


Figura 14. Análise de correlação linear entre a temperatura foliar média (°C) e o acúmulo de biomassa seca final (g) do biótipo Moresco submetidos aos tratamentos T1: Testemunha; T2: Roundup; T3: Select; T4: Verdict; T5: Roundup + Select; T6: Roundup + Verdict.

A análise revela uma correlação linear inversa entre os níveis de controle visual (%) e o acúmulo de massa seca final (g) do biótipo Moresco. O ajuste da linha de tendência linear confirma que as injúrias morfológicas estimadas visualmente em campo refletem com elevada fidelidade o real declínio na capacidade da planta daninha em fixar carbono e acumular biomassa, servindo como um indicador prático e confiável da eficácia biológica dos herbicidas avaliados.

Como esperado, o tratamento Testemunha (T1) concentrou-se na marca de 0% de controle e estabeleceu o teto de crescimento vegetativo do experimento, exibindo massas secas elevadas e dispersas entre 3,1 gramas e 6,8 gramas. Esse patamar evidencia o vigor e o alto potencial competitivo do biótipo Moresco quando livre da interferência química.

O desdobramento dos tratamentos herbicidas, revelou um comportamento biológico de extrema relevância para o manejo. Ao contrário de padrões convencionais, o herbicida Roundup Transorb aplicado isoladamente (T2) demonstrou uma clara debilidade no controle deste material vegetal. Os pontos referentes ao T2 posicionaram-se de forma intermediária no gráfico, 45% a 65% e retendo massas secas ainda muito expressivas, que atingiram até 1,97 gramas. Fisiologicamente, esse escape indica uma tolerância acentuada ou um nível severo de suscetibilidade reduzida do biótipo Moresco ao glifosato isolado.

Os dados confirmam que a associação de misturas do glifosato com os inibidores da ACCase (T5 e T6) não gerou efeito de antagonismo, mantendo o nível de controle no patamar máximo e garantindo a redução da biomassa. Dessa forma a distribuição dos pontos e a forte inclinação negativa da curva mostra a necessidade de readequação no manejo do biótipo Moresco, evidenciando que a rotação ou associação com graminicidas específicos é uma estratégia para conter o avanço e controlar essa planta daninha na lavoura.

Controle Visual vs. Acúmulo de Biomassa

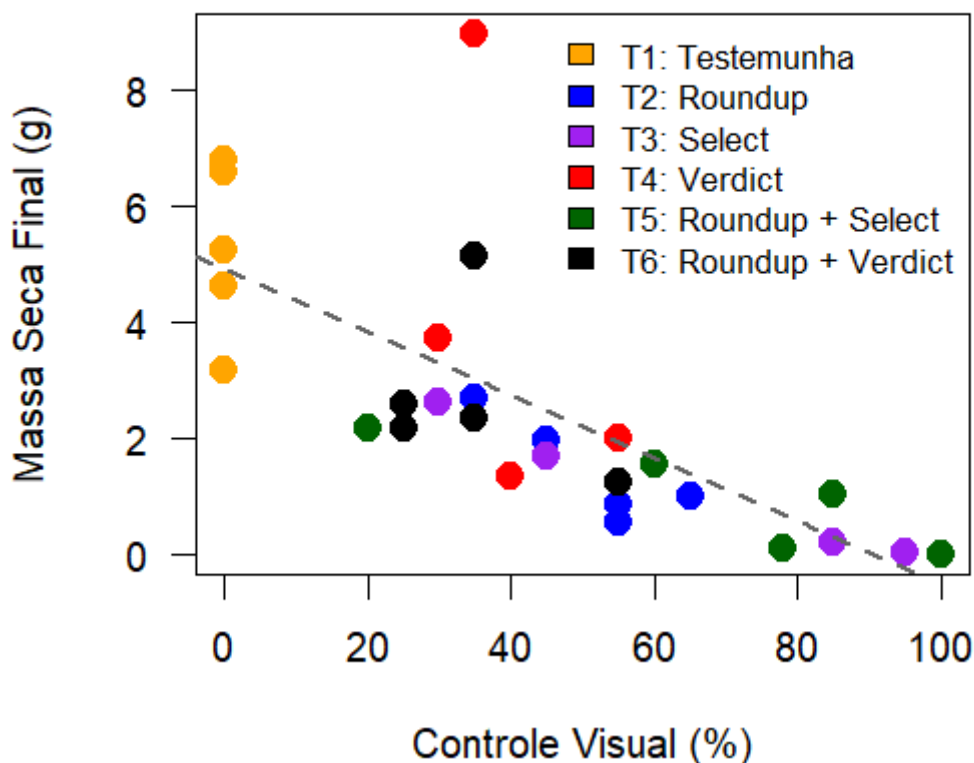


Figura 15. Análise de correlação linear de Pearson entre o índice de controle visual (%) e o acúmulo de biomassa seca final (g) do biótipo Moresco aos 17 dias após a aplicação (DAA) de tratamentos herbicidas.

A análise de correlação linear de Pearson estabelecida entre as notas de controle visual (%) e o acúmulo de massa seca final (g) obtidos aos 17 DAA constatou-se uma robusta correlação negativa altamente significativa $p < 0,01$, evidenciando que os valores reais na pesagem de biomassa na balança acompanham de forma linear a severidade e a evolução dos sintomas visuais registrados nas avaliações de campo.

No quadrante superior esquerdo, a testemunha sem aplicação T1, agrupou-se de forma isolada, apresentando notas cravadas em 0% de controle visual associadas aos maiores índices absolutos de massa seca (média de 5,29 g), servindo como o padrão de máxima expressão vegetativa e vigor físico do experimento.

Logo abaixo, o tratamento com Roundup Transborb + Verdict T6 expôs um comportamento singular e de extremo interesse prático para o estudo da resistência, apesar de apresentar baixas notas de controle visual (média de apenas 27% aos 17 DAA), a sua biomassa seca final foi severamente reduzida para uma média de 1,25 g quando comparada ao padrão da testemunha. Dessa forma a nota visual e o peso real

é explicada pelo efeito de estagnação de crescimento que o glifosato exerce mesmo sobre indivíduos resistentes, o herbicida falha em causar a necrose e a morte do vegetal, mas paralisa temporariamente as taxas de divisão celular e o alongamento foliar nos pontos de crescimento, limitando drasticamente o acúmulo normal de matéria seca durante o período avaliado.

Foi observado travamento biológico no Select + Roundup Transborb T5. Embora as notas visuais tenham indicado um nível de controle moderado e comercialmente insuficiente (média de 46%), as plantas sobreviventes apresentaram uma massa seca extremamente reduzida (média de 0,53 g). Esse comportamento é típico dos herbicidas inibidores da ACCase, que bloqueiam de forma imediata a síntese de lipídeos nos meristemas apicais, a planta cessa o seu crescimento vegetativo instantaneamente, porém a manifestação visual de necrose total e a dessecação completa das folhas mais velhas é um processo fisiológico lento, justificando a atribuição de notas visuais intermediárias na data da amostragem destrutiva.

No extremo oposto do gráfico de correlação, ocupando o quadrante inferior direito e puxando a inclinação da reta para o chão, posicionaram-se as misturas compostas por Roundup + Select (T3) e Roundup + Verdict (T2). Nesses tratamentos combinados, a associação de diferentes mecanismos de ação eliminou com sucesso os escapes biológicos individuais, resultando na destruição visual dos tecidos vegetais observada a campo.

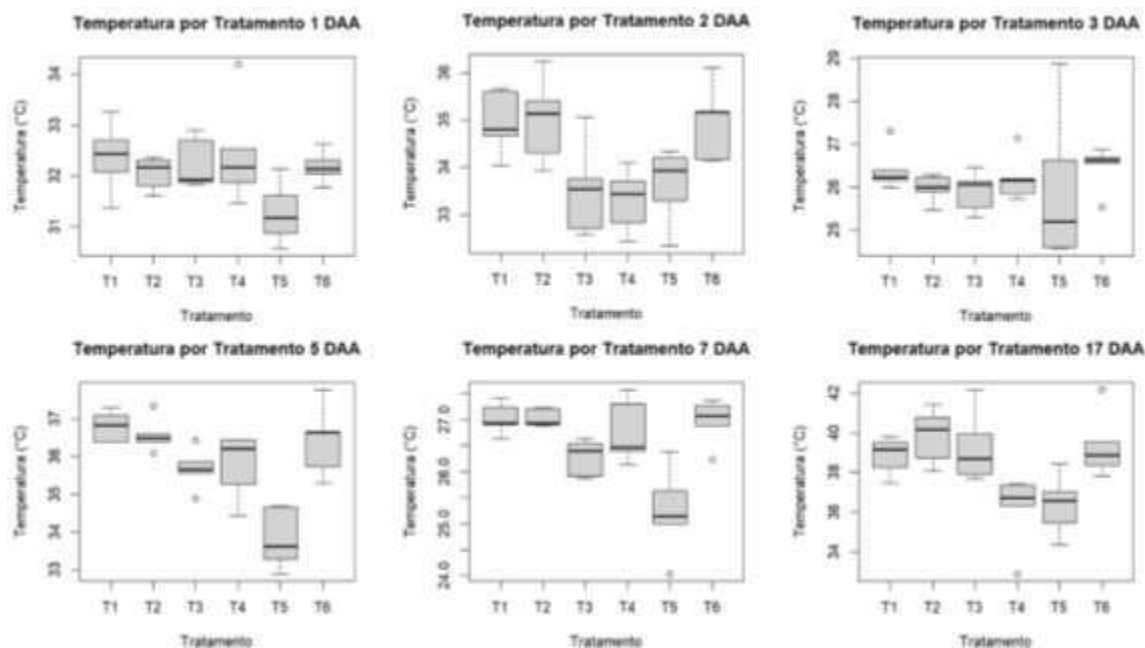


Figura 16. Distribuição e dispersão da temperatura foliar (°C) do biótipo Figueiredo representada por diagramas de caixas (boxplots) ao longo dos períodos de avaliação. T1: Testemunha; T2: Roundup; T3: Select; T4: Verdict; T5: Roundup + Select ; T6: Roundup + Verdict.

Tabela 9. Temperatura foliar média (°C) e erro padrão da média de biótipo Figueiredo avaliados em diferentes dias após a aplicação (DAA) de tratamentos herbicidas isolados e em misturas. T1: Testemunha; T2: Roundup; T3: Select; T4: Verdict; T5: Roundup + Select; T6: Roundup + Verdict.

Dias após a aplicação do biótipo Figueiredo																					
	1			2			3			5			7			16			17		
	Média	Erro	*	Média	Erro	*	Média	Erro	*	Média	Erro	*	Média	Erro	*	Média	Erro	*	Média	Erro	*
T1	32,38	0,316	a	35	0,307	b	26,4	0,229	a	36,82	0,182	c	27,04	0,161	c	40,36	0,376	b	38,84	0,431	ab
T2	32,04	0,146	a	35	0,408	b	26,02	0,148	a	36,6	0,25	bc	27,04	0,18	c	41,22	0,518	b	39,82	0,623	b
T3	32,24	0,23	a	33,52	0,449	ab	25,92	0,212	a	35,66	0,347	b	26,26	0,15	b	39,04	0,635	ab	39,26	0,817	ab
T4	32,44	0,47	a	33,3	0,299	a	26,18	0,245	a	35,76	0,573	bc	26,76	0,239	bc	39,8	0,606	b	36,18	0,839	a
T5	31,26	0,278	a	33,62	0,368	ab	25,98	0,815	a	33,84	0,268	a	25,24	0,336	a	37,16	0,314	a	36,36	0,693	a
T6	32,18	0,145	a	34,92	0,367	b	26,46	0,237	a	36,4	0,351	bc	26,98	0,17	c	41,66	0,591	b	39,36	0,761	ab

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna (dentro de cada DAA) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p > 0,05$). Os valores de "Erro" indicam o Erro Padrão da Média (se).

Termorregulação Foliar

Efeito do Ambiente (Horário) vs. Tratamentos Herbicidas

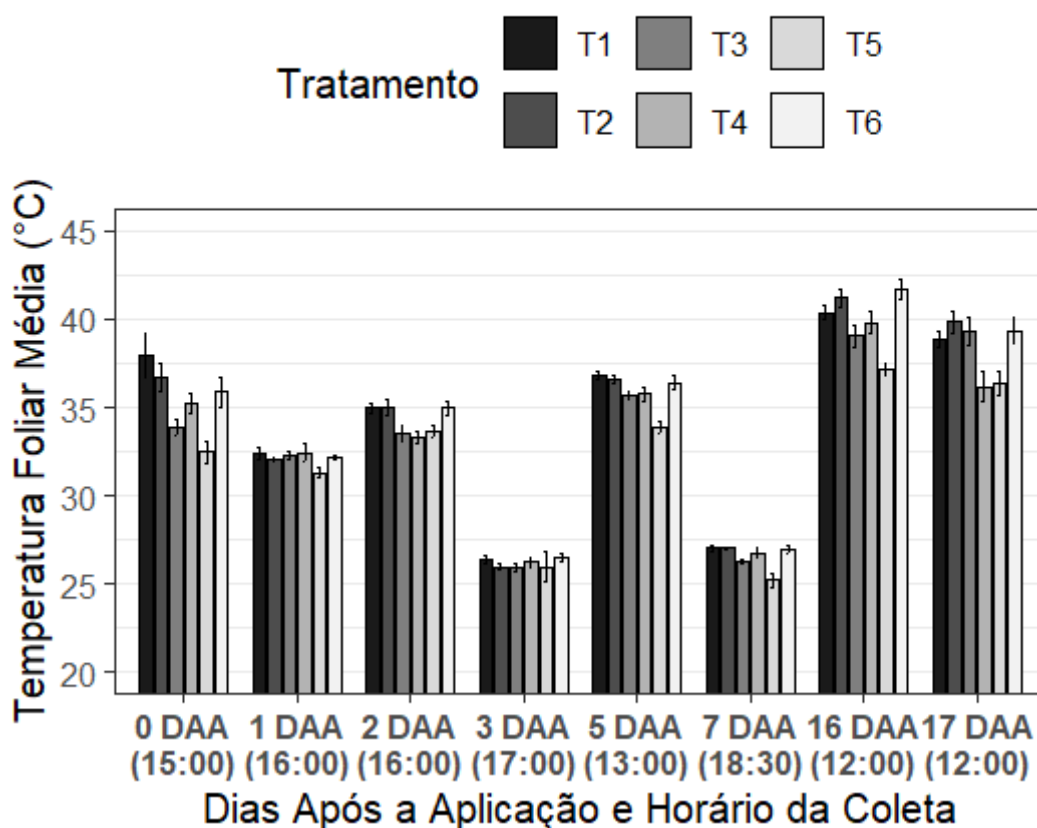


Figura 17. Temperatura foliar média (°C) do biótipo Figueiredo submetido a diferentes tratamentos herbicidas isolados e em misturas ao longo de oito períodos de avaliação (0, 1, 2, 3, 5, 7, 16 e 17 DAA). T1: Testemunha; T2: Roundup; T3: Select; T4: Verdict; T5: Roundup + Select ; T6: Roundup + Verdict.

A variação térmica observada no biótipo Figueiredo entre as datas de amostragem reflete, a influência direta das condições microclimáticas do ambiente e do horário de coleta no momento da leitura, interagindo com o avanço da fitotoxicidade dos herbicidas. Nos períodos iniciais, como no 3 DAA, sob condições de radiação solar amenizada no final da tarde, a temperatura foliar geral de todos os tratamentos estabilizou-se em patamares baixos, na faixa entre 25,9 °C e 26,4 °C. Essa homogeneidade térmica demonstra que, nas primeiras 72 horas, os processos de translocação e o estresse celular ainda não haviam colapsado a capacidade de termorregulação estomática basal dos grupos de plantas.

Entretanto, nas avaliações finais (16 e 17 DAA), conduzidas sob condições de forte radiação solar e elevadas temperaturas ambientes coletas ao meio-dia, as plantas foram submetidas a estresses drásticos, revelando respostas fisiológicas totalmente distintas e contrastantes entre os tratamentos. No 17 DAA, nota-se um emparelhamento estatístico das médias de temperatura na maior parte dos tratamentos herbicidas

variando entre 38,8 °C e 39,8 °C, enquanto o tratamento com Select isolado (T3) sofreu uma redução acentuada, recuando para 36,15 °C e aproximando-se da Testemunha (T1, 36,3 °C).

Temperatura vs. Acúmulo de Biomassa

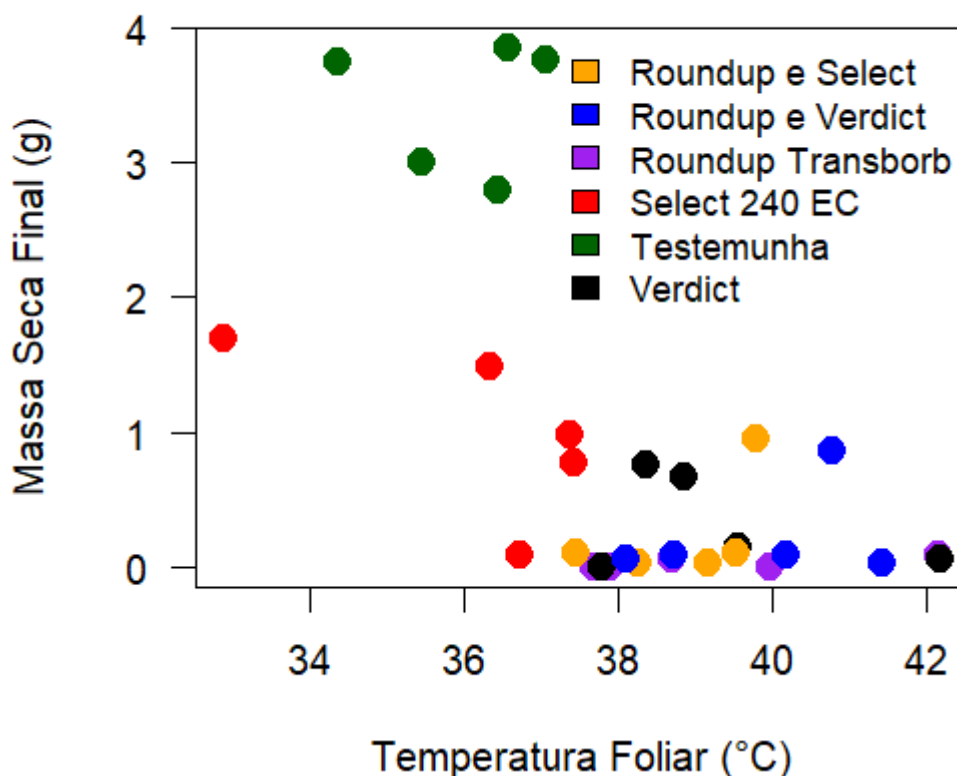


Figura 18. Análise de correlação linear entre a temperatura foliar média (°C) e o acúmulo de biomassa seca final (g) do biótipo Figueiredo submetidos aos tratamentos.

Os resultados obtidos demonstram uma correlação inversa e nítida entre a temperatura foliar e o acúmulo de biomassa seca final do biótipo Figueiredo, conforme ilustrado no gráfico de dispersão apresentado na figura 18. As plantas pertencentes ao tratamento Testemunha mantiveram a menor temperatura foliar, variando entre 34 °C e 37 °C e, conseqüentemente, a maior média de massa seca 3,43 gramas, diferenciando-se estatisticamente de todos os demais tratamentos pelo teste de Tukey $p < 0,05$. Esse comportamento ocorre porque plantas saudáveis realizam a transpiração de forma eficiente através da abertura estomática, a evapotranspiração resfria ativamente o tecido vegetal, mantendo a temperatura foliar regulada abaixo da temperatura ambiente crítica.

Em contrapartida, a aplicação dos herbicidas provocou um aumento acentuado na temperatura foliar, que ultrapassou os 38 °C e atingiu marcas próximas a 42 °C nos tratamentos com menor acúmulo de biomassa. Essa elevação térmica é um indicador fisiológico precoce de estresse severo e toxicidade celular. Com a ação das moléculas químicas sejam os inibidores da ACCase ou o inibidor da EPSPs, ocorre o fechamento estomático forçado e o colapso do transporte de elétrons na fotossíntese. Sem a dissipação de calor por meio da transpiração, a folha sofre um aquecimento passivo induzido pela radiação solar, gerando o padrão observado no gráfico.

Ao cruzar os dados de dispersão com os desdobramentos estatísticos do teste de Tukey, observam-se três blocos claros de resposta biológica do biótipo Figueiredo aos manejos adotados. O tratamento com Roundup Transborb isolado demonstrou a maior eficácia no controle do biótipo, reduzindo a massa seca final a praticamente zero 0,028 gramas, apresentando a menor biomassa e entregando a maior porcentagem de controle visual 94%. Na figura 18, os pontos roxos encontram-se todos agrupados na base extrema direita, correlacionando o estresse térmico máximo com a letalidade total da planta.

Os tratamentos Verdict, Roundup e Verdict, e Roundup e Select formaram um grupo intermediário de controle. No gráfico, as repetições desses orbitam na faixa de temperatura elevada e massa seca abaixo de 1,0 grama. Isso indica que, embora haja controle eficiente, a velocidade ou o mecanismo de dessecação dessas misturas compartilhou patamares estatísticos semelhantes entre si.

O herbicida Select 240 EC isolado apresentou a maior dispersão de dados e foi o menos eficiente entre os produtos testados, retendo uma média de 1,0 grama de massa seca, o que o distanciou da eficiência do Roundup Transborb. O gráfico ilustra essa transição de forma clara, os pontos vermelhos iniciam com temperaturas mais baixas e massas secas ainda expressivas 1,5 gramas e vão decrescendo conforme a temperatura foliar se eleva, evidenciando uma velocidade de ação ou sensibilidade inferior para este biótipo na dose avaliada.

Dessa forma a análise fisiológica indireta expressa na figura 18 valida o uso da temperatura foliar como uma ferramenta preditiva robusta para mensurar o dano causado por herbicidas. O bloqueio do crescimento está intrinsecamente ligado ao colapso regulatório térmico da planta.

Controle Visual vs. Acúmulo de Biomassa

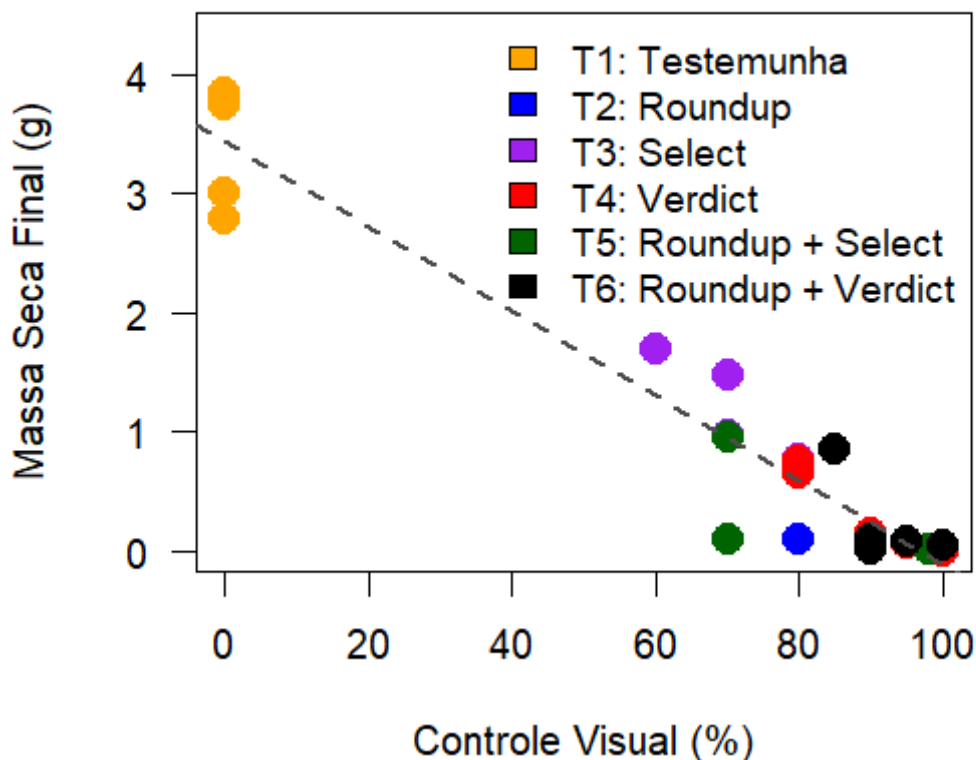


Figura 19. Análise de correlação linear de Pearson entre o índice de controle visual (%) e o acúmulo de biomassa seca final (g) do biótipo Figueiredo aos 17 dias após a aplicação (DAA) de tratamentos herbicidas.

Os resultados demonstram que as aplicações de herbicidas isolados ou em misturas alteraram significativamente os parâmetros fisiológicos e biométricos do biótipo Figueiredo, evidenciando uma estreita e robusta relação entre o controle visual, o acúmulo de biomassa e a temperatura foliar. A confiabilidade das avaliações visuais de controle realizadas em campo foi ratificada matematicamente pela análise de Correlação de Pearson, que revelou um coeficiente de $-0,968$ entre o controle visual (%) e a massa seca final (g). Essa correlação inversa e extremamente forte comprova que a injúria estimada visualmente traduz com precisão o declínio real no peso e na integridade estrutural das plantas submetidas ao manejo químico.

O tratamento Testemunha estabeleceu o limite superior de crescimento vegetativo e homeostase fisiológica do biótipo, acumulando a maior média de massa seca 3,43 gramas e diferindo estatisticamente de todos os demais tratamentos pelo teste de Tukey $p < 0,05$. Paralelamente, as plantas da testemunha exibiram uma temperatura foliar regulada de $35,98$ °C. Esse comportamento ressalta a plena atividade metabólica e estomática de tecidos saudáveis, nos quais a transpiração foliar atua eficientemente como um mecanismo de resfriamento termorregulador frente à radiação solar incidente.

Em contrapartida, a imposição do estresse químico pelos herbicidas causou um colapso na regulação térmica das folhas, elevando as temperaturas para patamares

superiores a 39 °C nos tratamentos mais eficazes. Esse fenômeno é justificado pelo modo de ação das moléculas utilizadas. Tanto o glifosato (inibidor da EPSPs) quanto os graminicidas cletodim e haloxyfop-P-metílico (inibidores da ACCase) provocam, de forma direta ou indireta, a interrupção do transporte de elétrons na fotossíntese, desregulação osmótica e o fechamento estomático forçado. Sem a dissipação de calor por meio da evapotranspiração, as folhas sofrem um aquecimento induzido pela radiação, transformando o aumento da temperatura foliar em um bioindicador precoce e confiável de fitotoxicidade e posterior morte do tecido vegetal.

O herbicida Roundup Transorb isolado proporcionou o controle mais severo do biótipo Figueiredo, reduzindo a massa seca ao menor patamar observado 0,028 gramas e atingindo a maior nota de controle visual 94,0%, concomitante à elevação da temperatura foliar para 39,28°C. Desempenho estatisticamente equivalente foi alcançado pela mistura Roundup e Verdict 92,0% de controle e 0,220 gramas de massa seca. A associação Roundup e Select também demonstrou alta performance, compartilhando o grupo superior de controle 83,6. Esses resultados evidenciam que a presença do glifosato isolado ou associado potencializa a velocidade de dessecação e letalidade sobre este biótipo.

O Select 240 EC isolado apresentou a menor eficácia biológica entre as intervenções químicas. O tratamento resultou em apenas 74,0% de controle visual e reteve o maior acúmulo de biomassa entre os herbicidas testados 1,000 grama. Fisiologicamente, o menor dano celular refletiu-se em uma temperatura foliar significativamente mais baixa 36,15 °C agrupando-se estatisticamente com a testemunha. Este comportamento evidencia uma menor velocidade de ação ou menor sensibilidade intrínseca do biótipo Figueiredo ao cletodim isolado nesta dosagem, indicando um ponto de atenção para o manejo de escapes a campo.

Dessa forma os desdobramentos estatísticos confirmam que o biótipo Figueiredo é altamente suscetível ao Roundup Transorb e às misturas, enquanto a utilização isolada do Select 240 EC se mostra uma estratégia frágil.

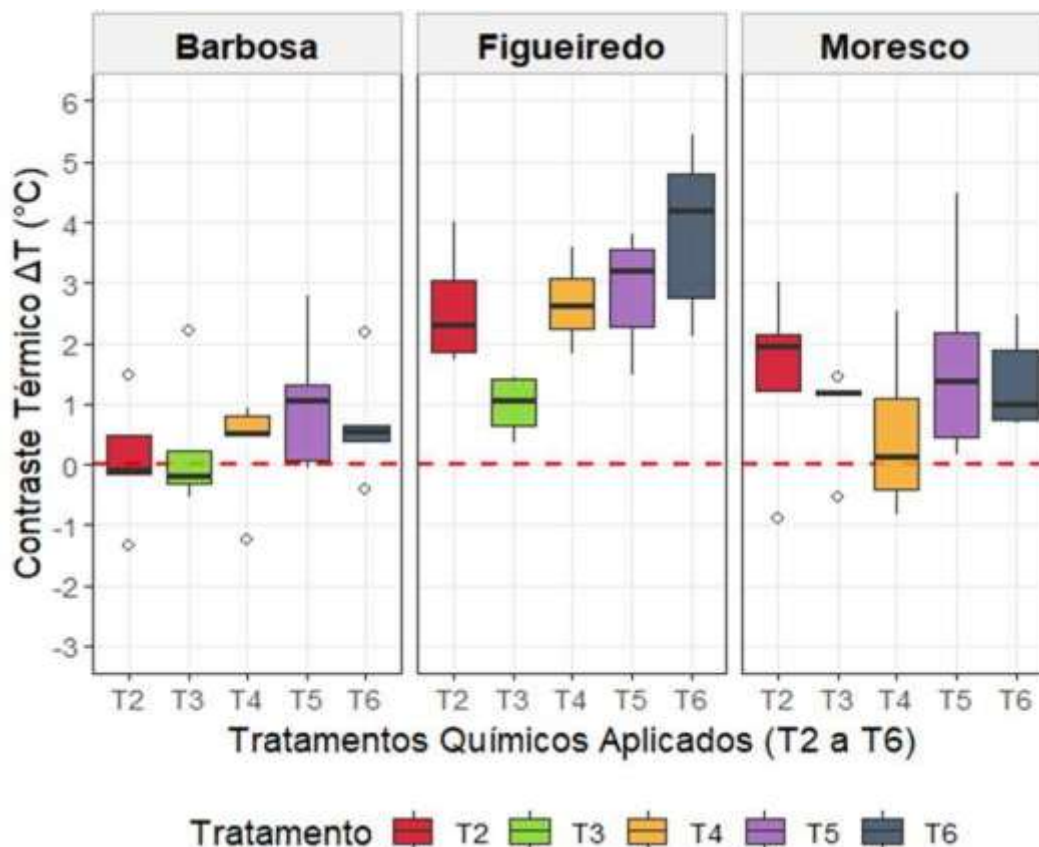


Figura 20. Contraste térmico foliar ($\Delta T_{\text{tratamento}} - \Delta T_{\text{testemunha}}$, $^{\circ}\text{C}$) em três biótipos de capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) submetidos a diferentes tratamentos herbicidas isolados e em mistura, avaliados aos 17 dias após a aplicação (DAA). A linha tracejada vermelha ($y = 0$) representa a linha de base das respectivas testemunhas não tratadas (T1): Testemunha; T2: Roundup; T3: Select; T4: Verdict; T5: Roundup + Select; T6: Roundup + Verdict.

A análise do contraste térmico foliar (ΔT) aos 17 dias após a aplicação (DAA), apresentada na Figura 20, evidenciou assinaturas termográficas nitidamente distintas entre os biótipos avaliados, revelando uma relação direta entre a regulação estomática, a temperatura do dossel e o nível de suscetibilidade genética de cada população aos herbicidas aplicados.

No biótipo Figueiredo que é o padrão suscetível, observa-se um expressivo incremento na temperatura foliar na maioria dos tratamentos químicos, caracterizando o fenômeno de estresse térmico. Sob a aplicação isolada de glifosato (T2) e haloxifope (T4), as caixas de dispersão posicionaram-se significativamente acima da linha de referência, zero, registrando medianas de ΔT elevadas. Esse aquecimento foliar decorre do colapso no processo de translocação e assimilação celular induzido por essas moléculas eficientes, o que acarreta o fechamento estomático forçado e a interrupção da taxa transpiratória. Sem o resfriamento evaporativo latente

proporcionado pela transpiração, a lâmina foliar passa a reter radiação térmica, elevando a temperatura do dossel. Esse comportamento atinge o ápice na mistura de glifosato + haloxifope (T6), cujo estresse agudo empurrou os valores de Delta T para os maiores patamares observados no ensaio.

Em contrapartida, o biótipo Barbosa exibiu uma notável estabilidade térmica estomática, operando muito próximo ou sobreposto quer é à linha tracejada vermelha (Testemunha) na sob as aplicações de glifosato (T2) e haloxifope (T4). A manutenção do Delta T próximo a zero demonstra que essas moléculas falharam em perturbar a fisiologia da planta, permitindo que os indivíduos mantivessem a abertura estomática e o fluxo hídrico normais, equiparando-se ao comportamento de uma planta sadia (testemunha).

O biótipo Moresco, por sua vez, demonstrou um comportamento termográfico intermediário e heterogêneo. Sob o efeito do glifosato (T2), registrou-se um aumento moderado no Delta T, sugerindo uma supressão parcial, porém incompleta, da atividade transpiratória. Contudo, o aspecto mais relevante para esse biótipo ocorre na resposta ao haloxifope (T4), onde a mediana do Delta T permaneceu colada à linha zero, denunciando uma clara tolerância inicial ao herbicida FOP isolado. Interessantemente, quando avaliada a mistura de glifosato + haloxifope (T6) no biótipo Moresco, o desvio térmico foi inferior ao do glifosato isolado (T2), o que sinaliza fisiologicamente a ocorrência de um efeito antagônico entre as moléculas, reduzindo o estresse global imediato sofrido pela planta.

Já a dinâmica do herbicida cletodim (T3 - inibidor da ACCase) revelou um padrão singular e homogêneo nas três populações estudadas. Conforme mostrado na figura 20, mesmo no biótipo suscetível (Figueiredo), o cletodim tendeu a manter o Delta T em níveis consideravelmente mais baixos e próximos à testemunha quando comparado ao haloxifope (T4 - grupo dos FOPs). Essa assinatura térmica indica que, embora o cletodim seja biologicamente eficaz no controle final a longo prazo, sua velocidade de dessecação inicial e indução de travamento estomático ocorre de forma muito mais lenta e gradual no tecido vegetal, preservando a refrigeração foliar ativa por períodos mais prolongados após a pulverização. Dessa forma, os dados confirmam que o monitoramento via sensoriamento térmico atua como um indicador precoce, sensível e não destrutivo, capaz de mapear a dinâmica de absorção e discriminar o grau de suscetibilidade de plantas daninhas antes do surgimento de injúrias visuais.

4. Conclusão

Com base nos resultados obtidos, e nos casos reportados, é evidente a variabilidade genética do capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) em se adaptar às ferramentas químicas disponíveis para o seu controle. Embora apresentem o mesmo mecanismo de ação (inibidores da ACCase), foi possível observar que existem variações nos casos de resposta dos biótipos ao cletodim e ao haloxifope-p-metilico, sendo verificado um maior nível de tolerância e resistência cruzada para o FOP em relação ao DIM. Essa divergência ficou nítida no biótipo Barbosa, que apresentou plena suscetibilidade ao cletodim, mas demonstrou uma resistência extrema ao haloxifope-p-metilico, sobrevivendo visualmente e mantendo tecidos verdes vigorosos mesmo na dose dezesseis vezes superior à recomendada de bula.

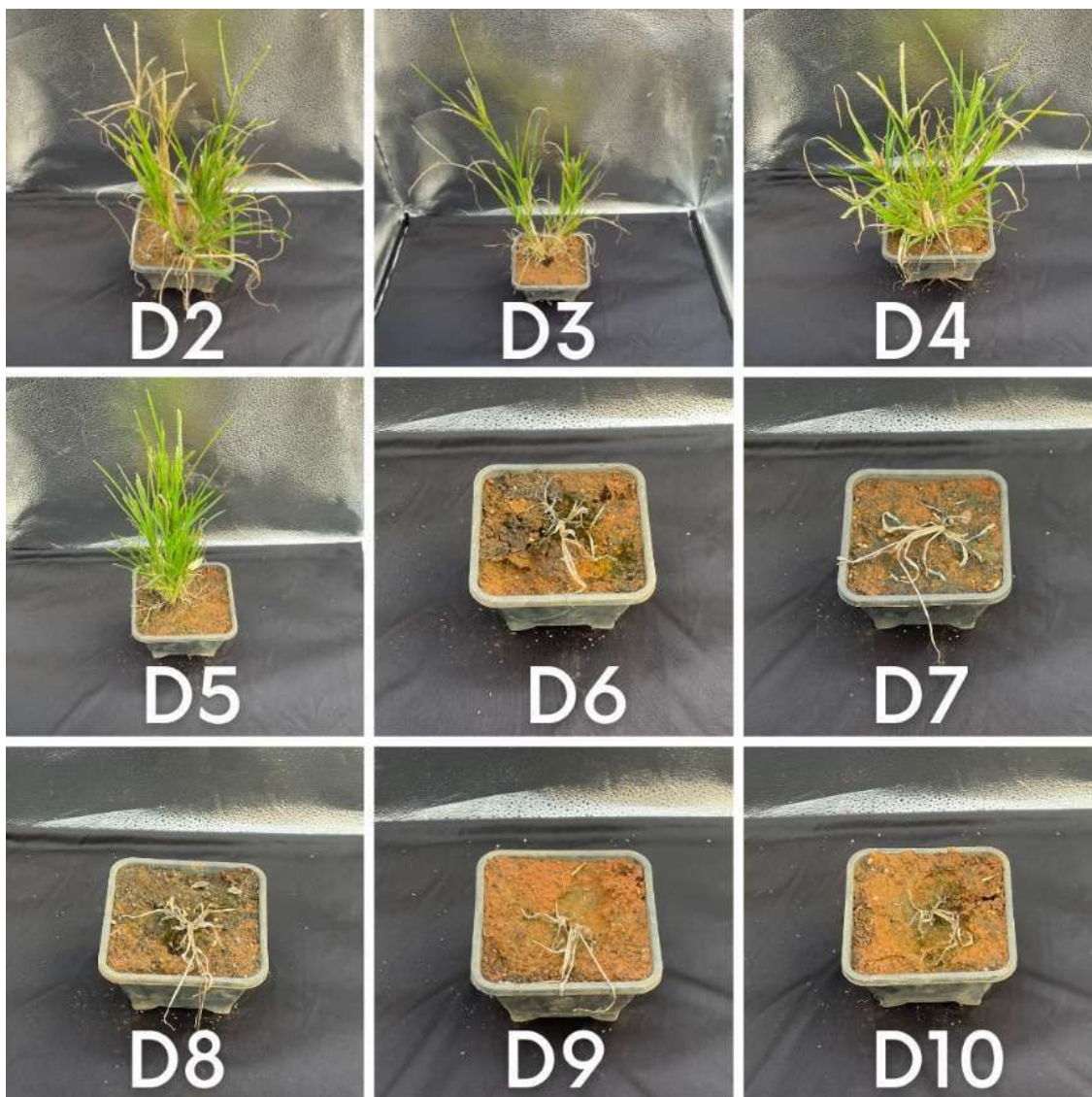
Dentre os três biótipos selecionados e tratados com glifosato, dois se caracterizaram como resistentes perante a definição agrônômica. Destes materiais, o biótipo Moresco se destacou de forma expressiva pois, além de confirmar resistência consolidada ao glifosato com uma GR_{80} que superou drasticamente as doses regulamentares, também apresentou expressiva perda de sensibilidade ao haloxifope-p-metilico, caracterizando um quadro crítico de resistência múltipla envolvendo os dois mecanismos de ação.

De suma importância para este estudo o sensoriamento térmico e multiespectral, por meio da quantificação do contraste térmico foliar (Delta T), consolidou-se como um indicador precoce, preciso e não destrutivo, validado estatisticamente pelo alinhamento com as curvas de dose-resposta, com as notas de controle e com a massa seca final. A estabilidade térmica estomática, caracterizada por valores de Delta T próximos a zero, discrimina com segurança os indivíduos resistentes em condições de escape no campo, enquanto o colapso transpiratório e o consequente choque térmico passivo, com picos de até 42,39°C, identificam com precisão a eficácia de controle no biótipo suscetível. Diante do avanço da resistência Múltipla, a integração do monitoramento tecnológico precoce via sensoriamento remoto surge como ferramenta essencial para o planejamento do manejo integrado.

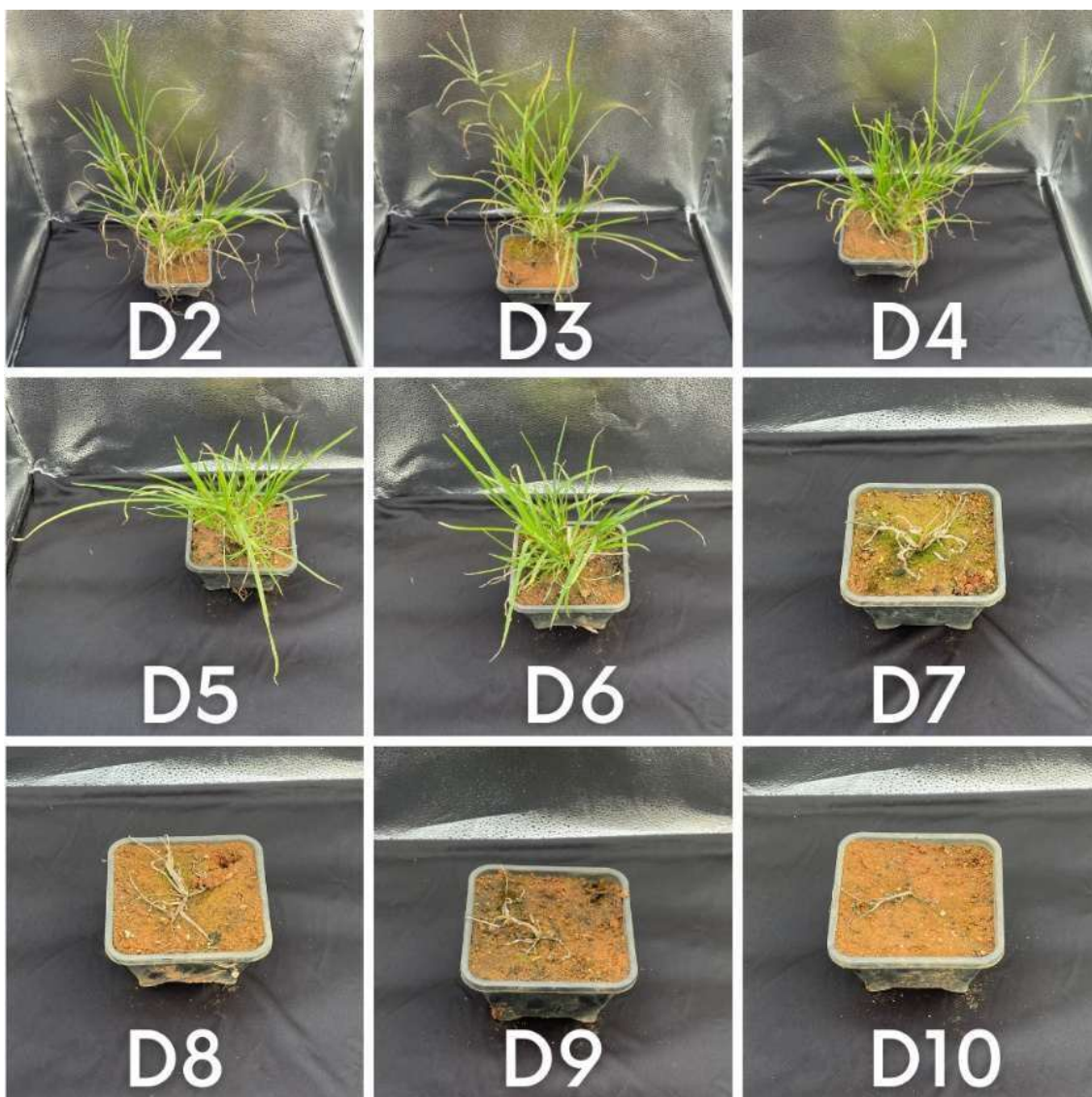
Levando-se em consideração a importância crucial destes herbicidas para o sistema produtivo brasileiro, torna-se necessária a integração urgente de outras ferramentas para o manejo integrado do capim-pé-de-galinha no Brasil. Como exemplo dessas estratégias, destaca-se a associação de produtos com diferentes mecanismos de ação, a adoção rigorosa de herbicidas pré-emergentes, a rotação de culturas e o uso consciente de biotecnologias disponíveis no mercado. Nesse sentido é indispensável a intensificação do monitoramento das áreas produtoras através de novas tecnologias, como o sensoriamento remoto aqui validado, visando o diagnóstico precoce de falhas de controle do capim pé-de-galinha.

5. **Anexo 1.** Imagens comparativas dos biótipos submetidos à aplicação de cletodim, aos 47 dias após a aplicação (DAA), em Urutaí, GO.

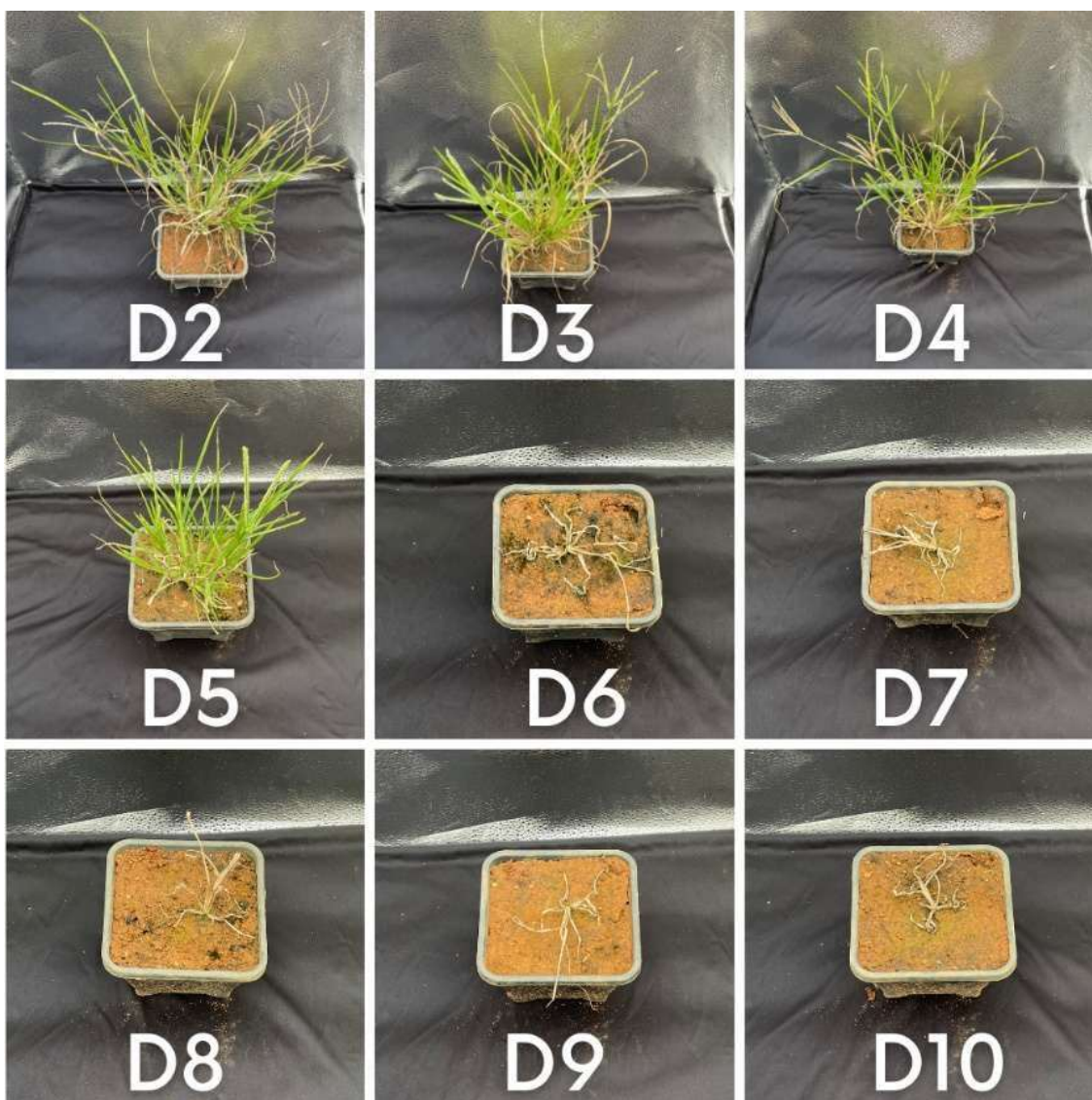
Ensaio de dose-resposta para o biótipo Figueiredo.



Ensaio de dose-resposta para o biótipo Moresco.

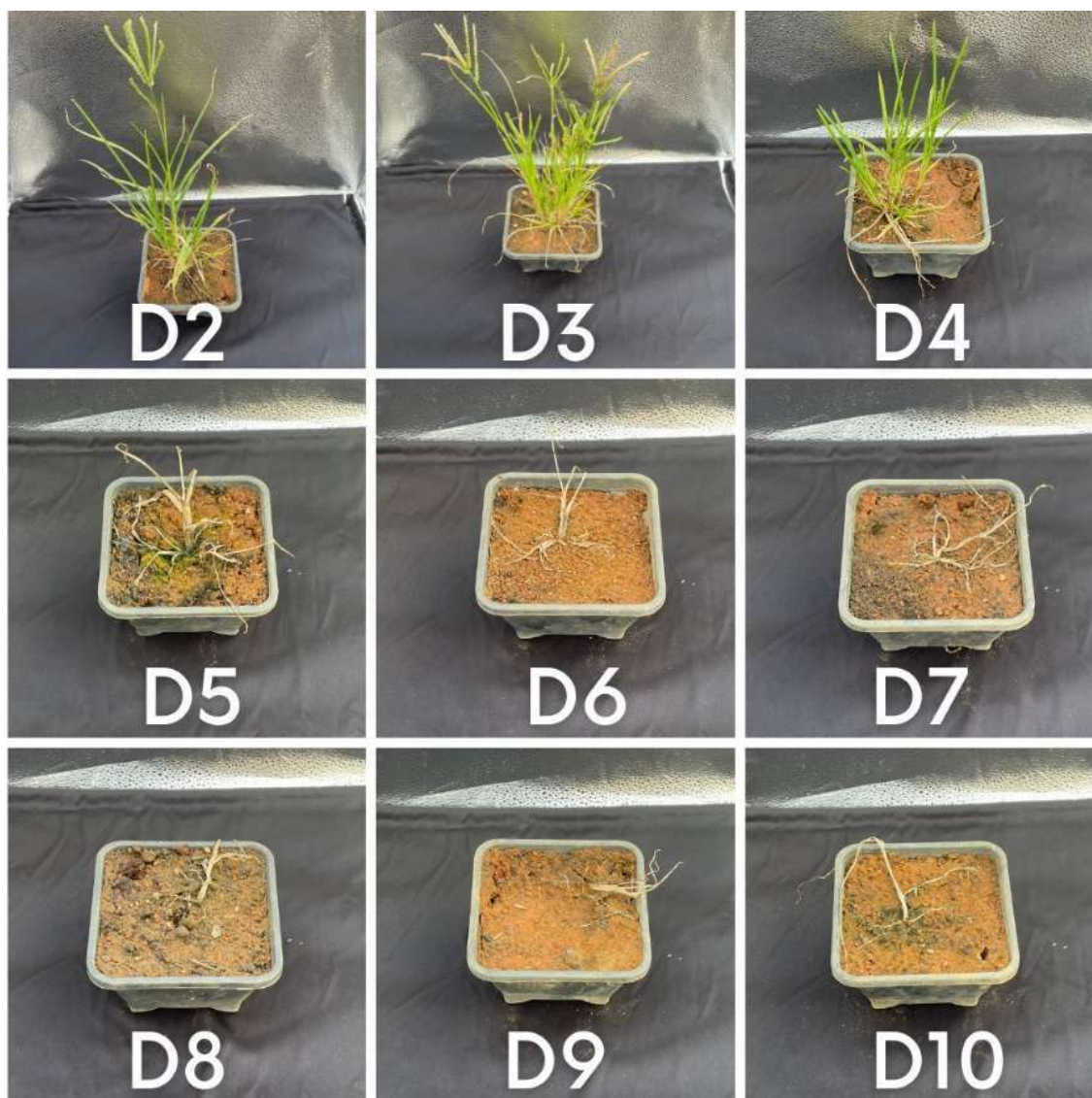


Ensaio de dose-resposta para o biótipo Barbosa.

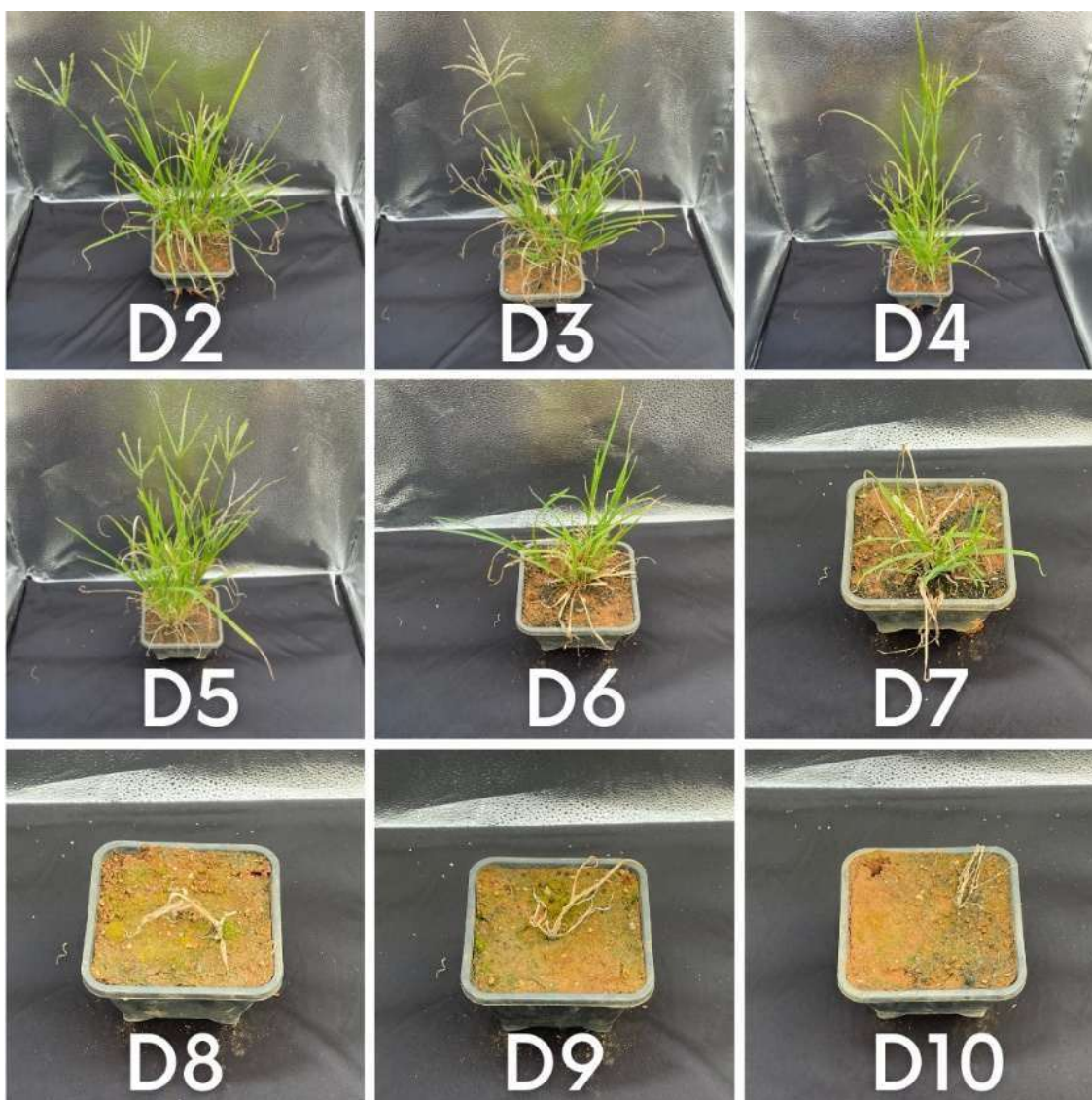


Anexo 2. Imagens comparativas dos biótipos submetidos à aplicação do Glifosato, aos 47 dias após a aplicação (DAA), em Urutaí, GO.

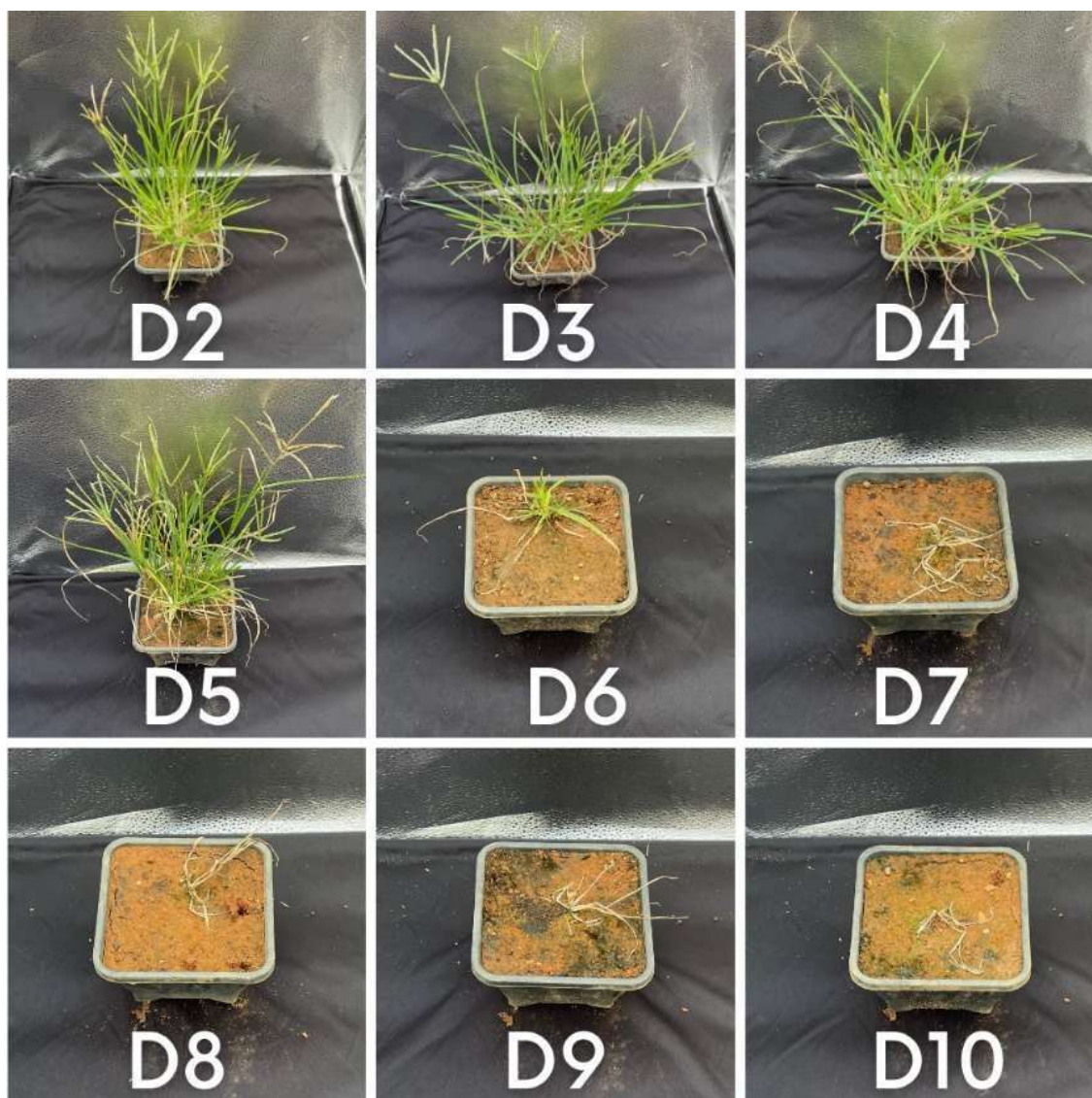
Ensaio de dose-resposta para o biótipo Figueiredo.



Ensaio de dose-resposta para o biótipo Moresco.

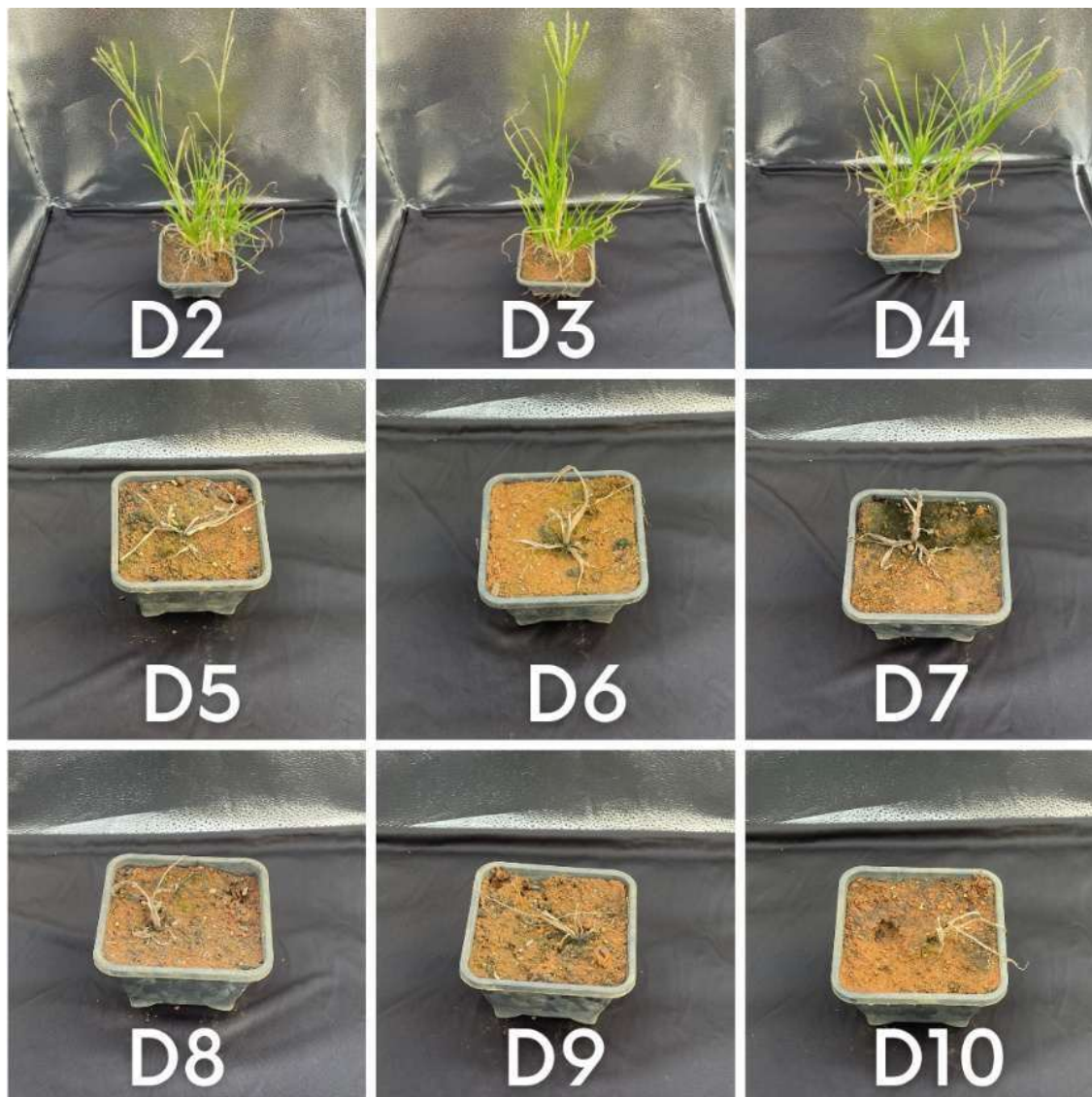


Ensaio de dose-resposta para o biótipo Barbosa.

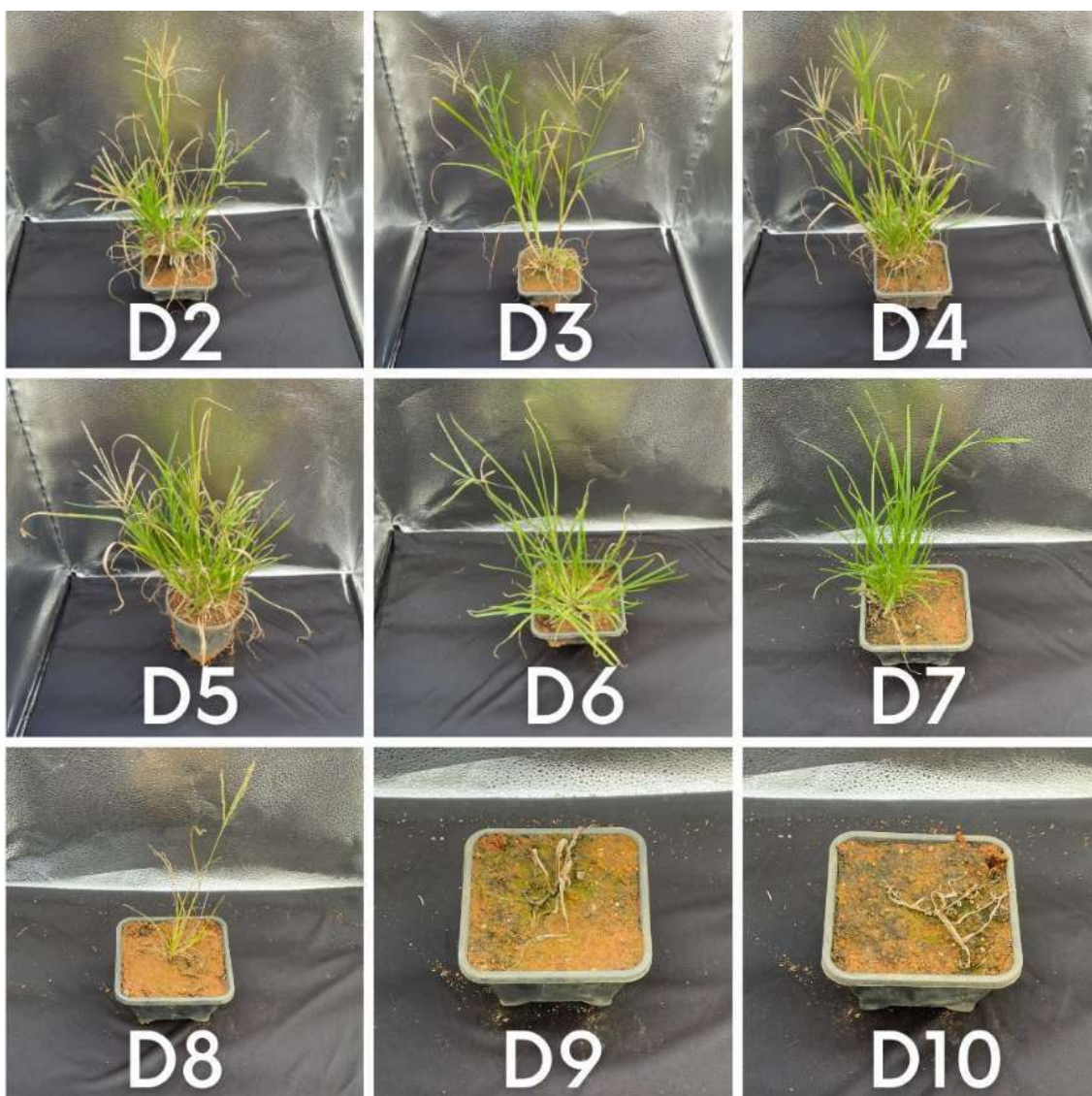


Anexo 3. Imagens comparativas dos biótipos submetidos à aplicação do Haloxifope-R-metílico, aos 47 dias após a aplicação (DAA), em Urutaí, GO.

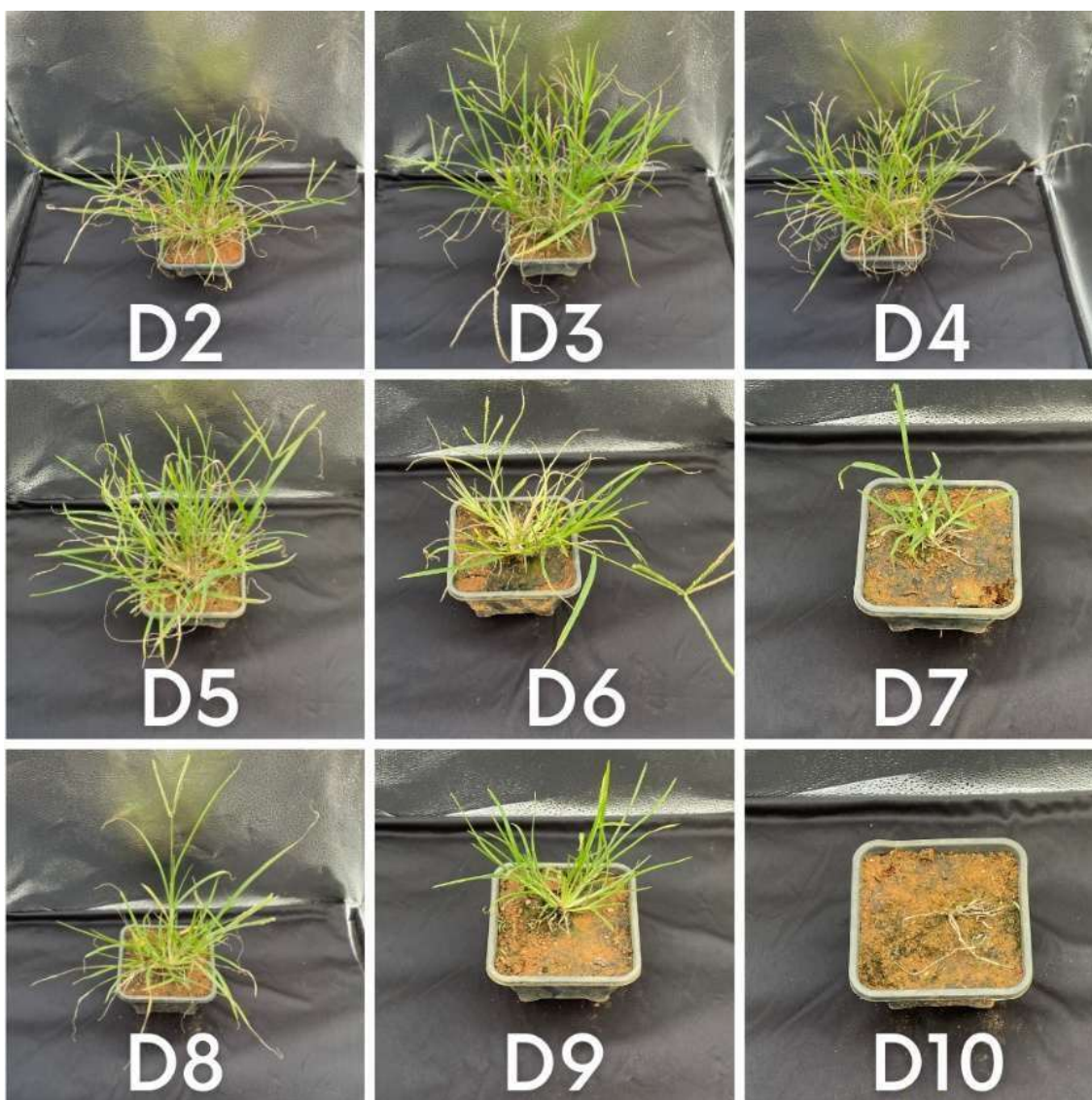
Ensaio de dose-resposta para o biótipo Figueiredo



Ensaio de dose-resposta para o biótipo Moresco



Ensaio de dose-resposta para o biótipo Barbosa.



6. Referencias

- BARROSO, A. A. M.; ALBRECHT, A. J. P.; REIS, F. C.; FILHO, R. V. Interação entre herbicidas inibidores da ACCase e diferentes formulações de glyphosate no controle de capim-amargoso. **Planta Daninha**, v. 32, n. 3, p. 619-627, 2014.
- BURGOS, N. R. Whole-Plant and Seed Bioassays for Resistance Confirmation. **Weed Science**, Special Issue, p. 152–165, 2015.
- BURGOS, N. R. et al. Review: confirmation of resistance to herbicides and evaluation of resistance levels. **Weed Science**, v. 61, n. 1, p. 4-20, 2013.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. Principais aspectos da resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v. 21, n. 3, p. 507-515, 2003.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; NICOLAI, M.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; BORGATO, E. A.; NETTO, A. G.; MELO, M. S. C. Resistência de plantas daninhas a herbicidas: termos e definições importantes. In: CHRISTOFFOLETI, P. J.; NICOLAI, M. (ed.). **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Piracicaba: HRAC-BR, 2016. p. 11-32.
- CORREIA, N. M.; BARCELLOS JÚNIOR, L. H. Impactos do capim pé-de-galinha na cultura da soja e a importância do manejo integrado. **Revista Cultivar**, 2023.
- EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL - EWRC. Report of 3rd and 4th meetings of EWRC. Committee of methods in weed research. **Weed Research**, v. 4, p. 88, 1964.
- FRANZ, J. E. Discovery, development and chemistry of glyphosate. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. (ed.). **The herbicide glyphosate**. London: Butterworths, 1985. p. 3-17.
- GAUSSOIN, P. J.; TRANEL, P. J. Efficacy and absorption of clethodim as influenced by adjuvants and weed species. **Weed Technology**, v. 11, n. 4, p. 732-739, 1997.
- GIESY, J. P.; DOBSON, S.; SOLOMON, K. R. Ecotoxicological risk assessment for Roundup® herbicide. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 167, p. 35–120, 2000.
- HALL, J. C. et al. Structural and physiological aspects of resistance with particular reference to dicamba resistance in *Sinapis arvensis*. **Weed Science**, v. 46, n. 2, p. 260-267, 1998.
- HASSANEIN, M. et al. A New Vegetation Segmentation Approach for Cropped Fields Based on Threshold Detection from Hue Histograms. **Sensors**, v. 18, n. 12, p. 1253, 2018.

HEAP, I. International Survey of Herbicide Resistant Weeds. **WeedScience**, 2026. Disponível em: <http://www.weedscience.org/>. Acesso em: 27 de maio de 2026.

HEAP, I. **The International Herbicide-Resistant Weed Database**. 2024. Disponível em: <http://www.weedscience.org>. Acesso em: 20 jul. 2024.

IDSO, S. B.; JACKSON, R. D.; PINTER, P. J.; REGINATO, R. J.; HATFIELD, J. L. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. **Agricultural Meteorology**, v. 24, p. 45-55, 1981. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(81\)90032-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(81)90032-7).

JACHETTA, J. J.; APPLEBY, A. P.; BOERSMA, L. Apoplastic and symplastic pathways of atrazine and glyphosate transport in shoots of seedling sunflower. **Plant Physiology**, v. 82, n. 4, p. 1000–1007, 1986.

KISSMANN, K. G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas**. 2. ed. São Paulo: BASF, 1997.

KNEZEVIC, S. Z. et al. Utilizing R software package for dose-response studies: The concept and data analysis. **Weed Technology**, v. 21, n. 3, p. 840-848, 2007.

OTSU, N. A threshold selection method from gray-level histograms. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 9, n. 1, p. 62-66, 1979.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

REDDY, K. N. et al. Glyphosate-resistant and glyphosate-susceptible Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri* S. Wats.): hyperspectral reflectance properties of plants and potential for classification. **Pest Management Science**, v. 70, n. 11, p. 1910–1917, 2014.

RITZ, C. et al. Dose-response analysis using R. **PLoS ONE**, v. 10, n. 12, e0146021, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146021>.

SCHERRER, B. et al. Hyperspectral imaging and neural networks to classify herbicide resistant weeds. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 13, n. 4, p. 1-15, 2019.

SILVA, A. R. et al. Proximal sensing estimation of glyphosate injury on weeds in central Brazil. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 13, n. 1, p. 1-14, 2019.

TAKANO, H. K. et al. Glyphosate resistance in goosegrass from Brazil. **Planta Daninha**, v. 35, e017163071, 2017.