

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ANA PAULA GOMES PINHEIRO**

**EFICIÊNCIA DE DIFERENTES HERBICIDAS COM DISTINTAS FONTES DE  
ÁGUA NO CONTROLE DE *Amaranthus hybridus***

**DOIS VIZINHOS - PR**

**2026**

**ANA PAULA GOMES PINHEIRO**

**EFICIÊNCIA DE DIFERENTES HERBICIDAS COM DISTINTAS FONTES DE  
ÁGUA NO CONTROLE DE *Amaranthus hybridus***

**Efficiency of Different Herbicides with Distinct Water Sources in the Control of  
*Amaranthus hybridus***

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Pedro Valério Dutra de Moraes.

**DOIS VIZINHOS - PR**

**2026**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**ANA PAULA GOMES PINHEIRO**

**EFICIÊNCIA DE DIFERENTES HERBICIDAS COM DISTINTAS FONTES DE  
ÁGUA NO CONTROLE DE *Amaranthus hybridus***

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Agronomia da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 22/junho/2026

---

Pedro Valério Dutra de Moraes (Orientador)  
Doutor em Agronomia  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Antonio Pedro Brusamarello  
Doutor em Agronomia  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná- Francisco Beltrão

---

Rafael Hass  
Pesquisador responsável pelo CDE -GO

**DOIS VIZINHOS - PR**

**2026**

Dedico este trabalho à minha família,  
pelos momentos de ausência.

## AGRADECIMENTOS

Certamente, estes parágrafos não serão suficientes para expressar toda a minha gratidão a quem fez parte dessa jornada tão especial e desafiadora. Desde já, peço desculpas àqueles que não estão mencionados aqui, mas saibam que vocês ocupam um lugar importante no meu coração e na minha trajetória.

Agradeço primeiramente à minha família, pelo amor incondicional e pelo apoio constante, mesmo à distância. Deixar minha cidade para viver sozinha e buscar meus sonhos foi um desafio enorme, e cada palavra de incentivo de vocês foi essencial para me manter firme, especialmente nos momentos mais difíceis.

Também dedico este agradecimento às pessoas que partiram ao longo desses anos e deixaram um vazio em minha vida. A ausência de vocês foi dolorosa, mas o legado de carinho e ensinamentos que deixaram comigo continua sendo uma fonte de força e inspiração.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Pedro Valério Dutra de Moraes, agradeço pela paciência, dedicação e orientação impecáveis.

Agradeço também o Cristiano Colet pela disponibilização das sementes utilizadas neste estudo. O apoio concedido foi fundamental para a condução desta pesquisa e para o desenvolvimento das atividades experimentais que tornaram este trabalho possível.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, seja com palavras de incentivo, com conhecimento compartilhado ou simplesmente estando presentes em minha vida. Este projeto é reflexo do esforço coletivo de tantas pessoas que acreditaram em mim e me apoiaram. Minha eterna gratidão a todos vocês!

“Entrega o teu caminho ao Senhor; confia  
nele, e ele tudo fará.”

Salmos 37:5

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de diferentes herbicidas associados a distintas fontes de água no controle de *Amaranthus hybridus*, bem como verificar a influência das características físico-químicas da água sobre o desempenho dos tratamentos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Fazenda Experimental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 × 6, composto por cinco fontes de água (rio, açude, poço artesiano, torneira e destilada) e seis tratamentos herbicidas (testemunha, glifosato, 2,4-D colina, glifosato + 2,4-D, halauxifeno-metílico e florpírauxifeno-benzil), com quatro repetições. Foram avaliadas pH e dureza das águas e das caldas, fitotoxicidade aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA), altura das plantas, índice de área foliar e massa seca da parte aérea. As diferentes fontes de água não influenciaram significativamente a eficiência dos herbicidas, possivelmente em razão da baixa dureza observada em todas as amostras. Entretanto, verificou-se relação significativa entre o pH das caldas e as variáveis avaliadas, sendo que menores valores de pH estiveram associados a maiores níveis de controle e menor produção de biomassa. Os tratamentos contendo glifosato, isolado ou associado ao 2,4-D, apresentaram os maiores níveis de controle de *A. hybridus*, reduzindo significativamente o crescimento, a área foliar e a massa seca das plantas. Em contrapartida, halauxifeno-metílico e florpírauxifeno-benzil apresentaram menor eficiência de controle. Conclui-se que a eficiência do manejo foi determinada principalmente pelo herbicida utilizado, enquanto as fontes de água avaliadas não alteraram significativamente os resultados obtidos para controle de caruru.

**Palavras-chave:** Caruru; herbicidas; qualidade da água; resistência.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the efficacy of different herbicides associated with distinct water sources for the control of *Amaranthus hybridus*, as well as to assess the influence of the physicochemical characteristics of water on herbicide performance. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal University of Technology – Paraná (UTFPR), using a completely randomized design in a 5 × 6 factorial arrangement, consisting of five water sources (river, pond, artesian well, tap water, and distilled water) and six herbicide treatments (untreated control, glyphosate, 2,4-D choline, glyphosate + 2,4-D, halauxifen-methyl, and florpyrauxifen-benzyl), with four replications. The pH and hardness of both the water sources and spray solutions were determined, and phytotoxicity was evaluated at 7, 14, 21, 28, and 35 days after application (DAA). Plant height, leaf area index, and shoot dry mass were also assessed. The different water sources did not significantly influence herbicide efficacy, possibly due to the low hardness observed in all samples. However, a significant relationship was observed between spray solution pH and the evaluated variables, with lower pH values being associated with higher control levels and lower biomass accumulation. Treatments containing glyphosate, either alone or in combination with 2,4-D, provided the highest levels of *A. hybridus* control, significantly reducing plant growth, leaf area, and dry mass. In contrast, halauxifen-methyl and florpyrauxifen-benzyl showed lower efficacy. It was concluded that herbicide performance was primarily determined by the active ingredient used, whereas the evaluated water sources did not significantly affect the results obtained.

**Keywords:** *Pigweed*; herbicides; water quality; resistance.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Análise de solo da área experimental.....	24
<b>Tabela 2</b> - Fontes de água utilizadas no preparo das caldas herbicidas.....	26
<b>Tabela 3</b> - Tratamentos herbicidas utilizados no experimento e respectivas quantidades empregadas no preparo de 2 L de calda.....	26
<b>Tabela 4</b> - Escala de avaliação da ação dos herbicidas sobre as plantas daninhas.....	29
<b>Tabela 5</b> - Fontes de água utilizadas no preparo das caldas herbicidas.....	32
<b>Tabela 6</b> - Valores médios de pH das caldas em função da interação entre herbicidas e fontes de água.....	33
<b>Tabela 7</b> - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis avaliadas no experimento. .....	34
<b>Tabela 8</b> - Média altura de plantas aos 7 dias após a aplicação (DAA), altura das plantas sobreviventes aos 35 DAA e índice de área foliar (IAF) de <i>Amaranthus hybridus</i> submetido a diferentes tratamentos herbicidas.....	40

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	Implantação e condução inicial do experimento com <i>Amaranthus hybridus</i> : (A) semeadura; (B) emergência das plântulas; e (C) padronização das unidades experimentais após o desbaste, com duas plantas por vaso.....	25
<b>Figura 2 -</b>	Preparo das caldas herbicidas utilizadas no experimento. A) Medição do herbicida; B) Preparo para o pulverizador; C) Determinação do pH das misturas.....	28
<b>Figura 3 -</b>	Etapas de preparo e aplicação dos herbicidas no experimento. A) Preparo das caldas; B) Aplicação dos tratamentos.....	28
<b>Figura 4 -</b>	Avaliação final de <i>Amaranthus hybridus</i> após aplicação dos tratamentos. A) Plantas sobreviventes aos 35 DAA da testemunha e demais tratamentos; B) Estufa utilizada para secagem do material vegetal e determinação da massa seca.....	30
<b>Figura 5 -</b>	Evolução temporal da fitotoxicidade média (%) dos herbicidas avaliados em cinco épocas após a aplicação (DAA).....	36
<b>Figura 6 -</b>	Massa seca média (g) das plantas daninhas por herbicida.....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de variância
Ca <sup>2+</sup>	Cálcio
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de cálcio
Cfa	Subtropical úmido mesotérmico
cm	Centímetros
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DAA	Dias após a aplicação
DIC	Delineamento inteiramente casualizado
EPSPS	Enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase
Espécie	sp.
g	Gramas
GEHerb	Grupo de Estudos em Herbologia
ha	Hectare
HRAC	<i>Herbicide Resistance Action Committee</i>
IAF	Índice de área foliar
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
kg	Quilogramas
L	Litros
m	Metros
MAP	Monoamônio fosfato
mg	Miligramas
Mg <sup>2+</sup>	Magnésio
MIPD	Manejo integrado de plantas daninhas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
R <sup>2</sup>	Coeficientes de determinação
ROS	Espécies reativas de oxigênio
s	Segundos
SBCPD	Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>15</b>
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 Problemas enfrentados na produção agrícola .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 <i>Amaranthus</i> sp. resistente .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3 <i>Amaranthus hybridus</i> .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4 Problemas causados pelo caruru .....</b>	<b>19</b>
<b>3.5 Herbicidas utilizados para controle do <i>Amaranthus hybridus</i>.....</b>	<b>20</b>
<b>3.6 Qualidade da água x Controle de plantas daninha.....</b>	<b>22</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1 Local e caracterização do solo e da área experimental .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2 Implantação e condução do experimento .....</b>	<b>24</b>
<b>4.3 Delineamento experimental e tratamentos .....</b>	<b>26</b>
<b>4.4 Preparo das caldas e aplicação dos tratamentos .....</b>	<b>27</b>
<b>4.4 Avaliações.....</b>	<b>29</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>44</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro desempenha papel estratégico na economia nacional, contribuindo significativamente para a geração de renda, exportações e segurança alimentar. Em 2025, o Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio alcançou aproximadamente R\$ 3,20 trilhões, correspondendo a cerca de 25,13% da economia brasileira, com destaque para o avanço da produção de grãos, especialmente soja e milho. Sendo a soja (*Glycine max* L.), o maior destaque, e uma das principais commodities agrícolas produzidas no país, consolidando o Brasil entre os maiores produtores e exportadores mundiais da cultura (CEPEA/CNA, 2026). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2026), a safra brasileira de soja 2025/26 apresenta estimativa de produção de aproximadamente 180,13 milhões de toneladas, cultivadas em uma área de 48,72 milhões de hectares, com produtividade média de 3.698 kg ha<sup>-1</sup>.

O crescimento contínuo do cultivo de soja no Brasil está diretamente relacionado à adoção de novas tecnologias de manejo, ao melhoramento genético e à expansão das áreas cultivadas. Com a intensificação dos sistemas de produção tem favorecido o aumento da pressão fitossanitária, especialmente em relação à ocorrência e disseminação de plantas daninhas resistentes a herbicidas. O uso repetitivo e contínuo de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação tem contribuído significativamente para a seleção de biótipos resistentes, tornando o manejo dessas espécies cada vez mais complexo nos sistemas agrícolas (MINOZZI; MONQUERO; PEREIRA, 2014; NONEMACHER et al., 2017).

As plantas daninhas causam impactos significativos nos sistemas de produção agrícola, competindo intensamente com as culturas por água, luz, nutrientes e espaço, o que resulta em reduções expressivas de produtividade e aumento dos custos relacionados ao manejo (PIETCZAK et al., 2023). Ao longo dos anos, o controle dessas espécies tornou-se cada vez mais complexo devido à elevada capacidade adaptativa e à evolução de biótipos resistentes aos herbicidas. Dentre os gêneros de maior relevância agrônômica, *Amaranthus* destaca-se como um dos principais grupos de plantas daninhas de difícil controle nas lavouras brasileiras (GARCÍA et al., 2020).

O *Amaranthus hybridus*, popularmente conhecido como caruru-roxo, é uma espécie anual de verão com metabolismo fotossintético C4, apresentando elevada capacidade reprodutiva, podendo produzir mais de 200.000 sementes por planta. Essa característica confere alta competitividade e rápida disseminação,

especialmente em lavouras de soja nas principais regiões produtoras do Brasil (GONÇALVES NETTO et al., 2025).

A resistência de plantas daninhas aos herbicidas ocorre, principalmente, em decorrência do uso repetitivo e contínuo de produtos com o mesmo mecanismo de ação, favorecendo a seleção de biótipos resistentes (DELLAFERRERA et al., 2018). No caso de *A. hybridus*, já foram relatados casos de resistência ao glifosato, inibidor da enzima EPSPS, e aos herbicidas inibidores da ALS. Entre os mecanismos envolvidos destacam-se mutações no sítio de ação e alterações relacionadas à expressão gênica, fatores que dificultam o controle químico e reforçam a necessidade de estratégias de manejo mais sustentáveis e eficientes (GARCÍA et al., 2020).

Entre os principais herbicidas utilizados no controle do caruru-roxo destacam-se o glifosato, o 2,4-D, o halauxifeno-metílico e o florpírauxifeno-benzil, moléculas que atuam por diferentes mecanismos de ação. A utilização de misturas e associações entre esses herbicidas constitui uma importante estratégia para ampliar o espectro de controle e reduzir a pressão de seleção de resistência. Todavia, a eficiência desses produtos pode ser influenciada por diversos fatores relacionados à tecnologia de aplicação (MENDES et al., 2022).

Um dos fatores que exerce influência direta sobre a eficiência dos herbicidas, é a qualidade da água utilizada nas pulverizações. Devido especialmente pelo pH, dureza da água, da presença de sais e da estabilidade das caldas. A presença de cátions, como cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), pode provocar antagonismo químico, reduzindo a absorção e o desempenho biológico dos herbicidas. Podendo as características físico-químicas da água comprometer significativamente a eficiência do controle químico de plantas daninhas (CUNHA et al., 2020).

Dessa forma, estudos que avaliem a influência das características físico-químicas da água associadas a diferentes herbicidas tornam-se essenciais para o aprimoramento das estratégias de manejo químico, contribuindo para maior eficiência no controle de plantas daninhas, redução dos custos operacionais e sustentabilidade dos sistemas produtivos de soja.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar a eficiência de diferentes herbicidas, em combinação com fontes distintas de água, no controle da planta daninha de Caruru (*Amaranthus hybridus*), contribuindo para estratégias mais eficazes no manejo desta planta daninha.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Avaliar a eficiência do controle do caruru resistente em diferentes períodos após a aplicação dos herbicidas, entre sete e 35 dias.

Analisar a redução do crescimento do caruru por meio de indicadores como área foliar, altura, matéria seca da parte aérea e radicular das plantas.

Caracterizar a composição química e física das diferentes fontes de água utilizadas na aplicação dos herbicidas.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Problemas enfrentados na produção agrícola

A agricultura tem apresentado crescente expansão nas últimas décadas em função do aumento da demanda populacional e dos investimentos no setor produtivo. As produções agrícolas possuem elevada importância econômica, contribuindo diretamente para a segurança alimentar e para a sustentabilidade econômica das regiões produtoras. Entretanto, diversos fatores podem comprometer a produtividade das culturas agrícolas, destacando-se entre eles a presença de plantas daninhas, consideradas um dos principais entraves aos sistemas de produção (TEJADA et al., 2024).

As plantas daninhas interferem diretamente no desenvolvimento das culturas ao competirem por recursos essenciais, como água, luz, nutrientes e espaço, ocasionando reduções expressivas na produtividade e aumento dos custos de produção. Além disso, sua presença dificulta operações de manejo e colheita, comprometendo a eficiência produtiva das lavouras (MARTINS; ANDREANI JUNIOR, 2023). O manejo dessas espécies geralmente requer o uso intensivo de herbicidas, o que aumenta os custos operacionais e intensifica a pressão de seleção sobre as populações de plantas daninhas (LIRA-DURAND, 2021).

Dentre as principais plantas daninhas presentes nos sistemas agrícolas brasileiros, especialmente nas lavouras de soja, destacam-se espécies monocotiledôneas e dicotiledôneas que apresentam elevada capacidade competitiva e difícil manejo. Entre as espécies dicotiledôneas de maior ocorrência encontram-se *Amaranthus* spp. (caruru), *Bidens* spp. (picão-preto), *Euphorbia heterophylla* (leiteiro), *Ipomoea* spp. (corda-de-viola), *Sida* spp. (guanxuma), *Conyza* spp. (buva) e *Raphanus sativus* (nabiça) (BARROSO; MURATA, 2021; MELHORANÇA; KARAM, 2021).

Já entre as monocotiledôneas destacam-se *Digitaria* spp. (capim-colchão), *Urochloa* spp. (braquiária), *Eleusine indica* (capim-pé-de-galinha), *Echinochloa* spp. (capim-arroz), *Megathyrsus maximus* (capim-colonião), *Commelina benghalensis* (trapoeraba) e *Digitaria insularis* (capim-amargoso), espécies amplamente distribuídas nas áreas agrícolas brasileiras e frequentemente associadas a elevados níveis de interferência nas culturas. Em lavouras de soja, espécies do gênero *Amaranthus* merecem destaque devido à elevada agressividade, alta produção de

sementes, rápida disseminação e crescente ocorrência de biótipos resistentes a herbicidas, fatores que dificultam significativamente seu controle e aumentam os custos de manejo (BARROSO; MURATA, 2021; MELHORANÇA; KARAM, 2021).

Entre as espécies de maior relevância agrônômica destaca-se o caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*), planta daninha que tem causado impactos significativos nas principais culturas agrícolas produzidas no Brasil, especialmente na soja. O impacto dessa espécie está relacionado à elevada capacidade competitiva e à intensa disputa por recursos essenciais ao desenvolvimento das culturas, resultando em perdas significativas de produtividade. Estudos demonstram que a presença de uma planta de *A. hybridus* por metro quadrado pode reduzir a produtividade da soja entre 4,47% e 8,32%, com potencial de aumento das perdas conforme ocorre o incremento da densidade populacional da planta daninha (ZANDONÁ et al., 2022). E a crescente ocorrência de populações resistentes ao herbicida glifosato tem agravado ainda mais os problemas relacionados ao manejo dessa espécie (OLIVEIRA et al., 2021).

Outro desafio relevante enfrentado pelos produtores agrícolas é a evolução da resistência de plantas daninhas aos herbicidas, fenômeno associado principalmente ao uso repetitivo de produtos com o mesmo mecanismo de ação. Em razão da elevada capacidade adaptativa e variabilidade genética dessas espécies, ocorre a seleção de biótipos resistentes, reduzindo a eficiência dos herbicidas disponíveis e tornando o controle químico cada vez mais complexo e oneroso (MARTINS JUNIOR, 2023). Assim, a identificação de escapes e reboleiras nas áreas cultivadas torna-se fundamental, uma vez que a detecção precoce de possíveis casos de resistência possibilita a adoção de estratégias de manejo mais eficientes e sustentáveis (NICOLAI, 2024).

Diante desse cenário, torna-se necessária a adoção de estratégias integradas e sustentáveis para o manejo de plantas daninhas. Práticas como a rotação de culturas, utilização de cobertura vegetal e associação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação são consideradas fundamentais para reduzir a pressão de seleção e aumentar a eficiência do controle. A rotação de culturas, por exemplo, contribui para interromper o ciclo de desenvolvimento das plantas daninhas, além de favorecer melhorias nas características físicas, químicas e biológicas do solo, promovendo maior sustentabilidade aos sistemas agrícolas (BARROSO; MURATA, 2021).

O controle químico permanece como uma das principais ferramentas utilizadas no manejo de plantas daninhas em sistemas agrícolas, principalmente devido à sua eficiência, praticidade e relação custo-benefício (DAN et al., 2010). Contudo, o uso inadequado de herbicidas pode favorecer a seleção de biótipos resistentes e comprometer a eficiência do controle. Dessa forma, a utilização correta desses produtos exige conhecimento sobre dosagens, estágio de desenvolvimento das plantas, condições climáticas e tecnologia de aplicação, fatores fundamentais para maximizar a eficiência dos herbicidas e garantir maior sustentabilidade no manejo das plantas daninhas (OLIVEIRA et al., 2021).

### **3.2 *Amaranthus* sp. resistente**

As plantas daninhas do gênero *Amaranthus* merecem atenção especial devido à possibilidade de diferentes espécies do mesmo gênero realizarem cruzamentos entre si. Destaca-se que algumas dessas plantas, por serem dióicas, apresentam maior variabilidade genética, o que facilita o surgimento de populações resistentes a herbicidas (STETTER; SCHMID, 2017; RAIYEMO; BOBADILLA; TRANE, 2023). De acordo com Barroso, Hijano e Alves (2017), o *Amaranthus palmeri* (caruru-palmeri), uma das espécies resistentes ao glifosato, pode causar perdas significativas na produtividade agrícola, atingindo até 77% no algodão, 76% na soja e 91% no milho.

De modo geral, a resistência ao glifosato em plantas daninhas está associada a diferentes mecanismos. Conforme García et al. (2020), os principais mecanismos de resistência ao glifosato em *A. hybridus* incluem mutações múltiplas no gene EPSPS (como a substituição tripla TAP-IVS), que alteram o local-alvo da enzima, além de superexpressão do gene EPSPS. Outros mecanismos não-alvo, como redução na absorção e translocação celular, sequestro vacuolar e metabolismo acelerado, também contribuem para a resistência observada em populações brasileiras e sul-americanas (Dutra et al., 2025; Gonçalves Netto et al., 2025).

Entre as espécies do gênero *Amaranthus*, um dos principais mecanismos de resistência aos herbicidas está relacionado à alteração no local de ação, especialmente por meio de mutações em genes-alvo responsáveis pela ligação dos herbicidas, reduzindo sua eficácia no controle das plantas daninhas (GARCÍA et al., 2020)

### **3.3 *Amaranthus hybridus***

O Caruru roxo é uma espécie originária da América Tropical, é uma planta herbácea, de crescimento ereto e coloração avermelhada, a altura varia entre 20 cm a 2 m. Esta espécie é anual e seu meio de reprodução é por meio de sementes, podendo ser encontrada em todas as regiões do Brasil (OLIVEIRA et al., 2021).

O Caruru roxo apresenta características que a tornam altamente agressiva nos sistemas agrícolas. O metabolismo fotossintético do tipo C4 confere maior eficiência no aproveitamento de água, luz e nutrientes, especialmente em condições de altas temperaturas e elevada luminosidade, características predominantes nas regiões produtoras do Brasil. Além disso, o *A. hybridus* destaca-se pela elevada capacidade competitiva e pelo alto potencial reprodutivo, fator que favorece sua rápida disseminação e persistência no banco de sementes do solo (MENDES et al., 2022).

Segundo Penckowski et al. (2020), *A. hybridus* apresenta elevada capacidade reprodutiva, podendo produzir entre 200 mil e 600 mil sementes por planta. A dispersão dessas sementes ocorre por diferentes meios, incluindo máquinas agrícolas, canais de escoamento de água, insumos agrícolas, esterco animal, aves, mamíferos e até mesmo culturas de cobertura, favorecendo sua rápida disseminação nas áreas agrícolas. Ainda, a germinação do caruru é diretamente influenciada pela temperatura e pela luminosidade, como verificado por Carvalho e Christoffoleti (2007). Os autores ainda relataram que as maiores taxas e velocidades de germinação ocorrem sob condições de fotoperíodo com alternância térmica de 8 horas de luz a 30 °C e 16 horas de escuro a 20 °C.

### **3.4 Problemas causados pelo caruru**

O caruru-roxo é considerado uma das plantas daninhas mais problemáticas nas lavouras brasileiras, causando expressivos impactos econômicos e produtivos. Em culturas como soja, milho e algodão, a matocompetição promovida por essa espécie resulta em perdas significativas de produtividade devido à sua elevada capacidade competitiva. Estudos demonstram que a presença de uma planta de *A. hybridus* por metro quadrado pode reduzir o rendimento de grãos de soja em média 6,4%, com potencial de aumento das perdas conforme ocorre o incremento da densidade populacional, comprometendo a rentabilidade das lavouras e elevando os custos relacionados ao manejo (GONÇALVES NETTO et al., 2025).

A problemática torna-se ainda mais preocupante em razão da crescente ocorrência de populações resistentes a herbicidas. No Brasil, já foram identificados biótipos de *A. hybridus* resistentes ao glifosato, inibidor da enzima EPSPS, e aos herbicidas inibidores da ALS, principalmente sulfonilureias, além de relatos de resistência múltipla envolvendo herbicidas auxínicos, como 2,4-D e dicamba (DELLAFERRERA et al., 2018; GARCÍA et al., 2020). Os mecanismos de resistência incluem mutações no sítio de ação e alterações relacionadas à expressão gênica, reduzindo significativamente a eficiência do controle químico, aumentando os custos de manejo e limitando as alternativas disponíveis aos produtores (GARCÍA et al., 2020).

O manejo de *A. hybridus* é dificultado por diversos fatores, entre eles a ampla dispersão de sementes, a formação de reboleiras e escapes nas áreas agrícolas e o fluxo prolongado de emergência ao longo do ciclo das culturas. Essas características permitem a emergência contínua de novas plântulas mesmo após aplicações de herbicidas, favorecendo a perpetuação da infestação e dificultando a eficiência das estratégias de controle (RESENDE et al., 2022).

Tornado assim fundamental a adoção do manejo integrado de plantas daninhas (MIPD), associado ao monitoramento constante das áreas infestadas. Estratégias que integrem métodos culturais, mecânicos e químicos, aliadas à rotação de mecanismos de ação herbicida, são essenciais para reduzir os prejuízos produtivos, minimizar a disseminação de biótipos resistentes e promover maior sustentabilidade aos sistemas agrícolas (DUTRA et al., 2025).

### **3.5 Herbicidas utilizados para controle do *Amaranthus hybridus***

Entre os métodos de controle de plantas daninhas, o controle químico destaca-se como uma das principais estratégias utilizadas na agricultura em larga escala, em razão de sua elevada eficiência, rapidez de ação e viabilidade econômica quando comparado a outros métodos de manejo (SANTOS et al., 2013). Entretanto, a utilização isolada e contínua de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação favorece a seleção de biótipos resistentes, tornando necessária a adoção de estratégias como a rotação e associação de herbicidas aplicados em pré e/ou pós-emergência (MARTINS et al., 2020).

No manejo de *A. hybridus*, especialmente em culturas como soja, milho e algodão, o controle químico constitui uma ferramenta fundamental devido à elevada capacidade competitiva e adaptativa dessa espécie. No presente experimento, foram avaliados os herbicidas glifosato, 2,4-D, halauxifeno-metílico e florpiauxifeno-benzil, aplicados de forma isolada e em associação, com o objetivo de verificar sua eficiência no controle da espécie sob diferentes qualidades de água de pulverização (FIGUEIREDO et al., 2017).

O glifosato é um dos herbicidas mais utilizados mundialmente no controle de plantas daninhas, incluindo *A. hybridus*. Seu mecanismo de ação baseia-se na inibição da enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS), responsável pela biossíntese de aminoácidos aromáticos essenciais ao desenvolvimento vegetal. Seu amplo espectro de ação, associado à baixa toxicidade e à compatibilidade com culturas geneticamente modificadas, contribuiu para sua ampla utilização nos sistemas agrícolas. Contudo, populações de *A. hybridus* resistentes ao glifosato já foram identificadas em diferentes regiões do Brasil, principalmente no Rio Grande do Sul, dificultando a eficiência do controle químico (DUTRA et al., 2025).

Os herbicidas hormonais, como o 2,4-D, pertencem ao grupo dos mimetizadores de auxina (HRAC/O) e atuam promovendo desregulação do crescimento celular, ocasionando sintomas como epinastia, deformações teciduais e morte das plantas sensíveis. No manejo de *A. hybridus*, o 2,4-D é amplamente utilizado em aplicações de pós-emergência, principalmente em associação com glifosato, visando ampliar o espectro de controle e reduzir a pressão de seleção de biótipos resistentes. Entretanto, já existem relatos de populações com resistência múltipla envolvendo glifosato e herbicidas auxínicos, como 2,4-D e dicamba (DELLAFERRERA et al., 2018).

O halauxifeno-metílico pertence ao grupo químico dos arilpicolinatos e também atua como mimetizador de auxina. Essa molécula apresenta elevada eficiência no controle de plantas daninhas de folhas largas, incluindo biótipos de *A. hybridus* resistentes ao glifosato e a outros herbicidas tradicionalmente utilizados. Dessa forma, o halauxifeno-metílico representa uma importante alternativa para programas de manejo de resistência e associação de mecanismos de ação (GARCÍA et al., 2020).

O florpiauxifeno-benzil, igualmente pertencente ao grupo dos arilpicolinatos, caracteriza-se como um herbicida auxínico de nova geração, apresentando elevada eficiência mesmo em baixas doses, rápida absorção e boa translocação nas plantas.

Seu uso amplia as alternativas para o manejo químico de populações resistentes, permitindo maior diversificação dos mecanismos de ação utilizados. Estudos recentes demonstram resultados promissores desse herbicida no controle de *A. hybridus*, principalmente em áreas com histórico de resistência a herbicidas tradicionais (GONÇALVES NETTO et al., 2025).

### 3.6 Qualidade da água x Controle de plantas daninha

A qualidade da água utilizada no preparo das caldas de pulverização exerce influência direta sobre a eficiência das aplicações de herbicidas, podendo interferir na estabilidade, absorção e eficácia biológica dos produtos fitossanitários no controle de plantas daninhas (CUNHA et al., 2020). Dessa forma, fatores físico-químicos da água devem ser considerados na tecnologia de aplicação, especialmente em sistemas agrícolas que dependem do controle químico para o manejo de espécies de difícil controle, como *A. hybridus* (KISSMANN; GROTH, 1999).

Entre os principais parâmetros relacionados à qualidade da água destacam-se o pH, a dureza, a presença de sais, matéria orgânica em suspensão e a temperatura. O pH influencia diretamente a estabilidade química e a dissociação dos ingredientes ativos, podendo acelerar processos de hidrólise e degradação de determinados herbicidas, principalmente em condições alcalinas. De modo geral, produtos fitossanitários tendem a apresentar maior estabilidade e eficiência em caldas com pH levemente ácido, normalmente entre 6,0 e 6,5 (QUEIROZ et al., 2008).

A dureza da água constitui um dos principais fatores limitantes para a eficiência do controle químico. Ela está relacionada principalmente à presença de cátions como cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), que podem reagir com ingredientes ativos formulados na forma de sais, formando compostos insolúveis ou de baixa disponibilidade biológica. Esse processo reduz a absorção e a translocação dos herbicidas pelas plantas daninhas, comprometendo a eficiência do controle, especialmente em produtos como glifosato e herbicidas auxínicos. Além disso, águas duras podem favorecer a floculação e a formação de aglomerados, contribuindo para obstruções em filtros e pontas de pulverização (KISSMANN; GROTH, 1999; MIRZAEI et al., 2019).

A presença de argila, matéria orgânica em suspensão e outras impurezas também pode comprometer a eficiência das pulverizações. Essas partículas podem

adsorver os ingredientes ativos ainda no interior do tanque, reduzindo sua disponibilidade para absorção pelas plantas daninhas. Da mesma forma, variações excessivas de temperatura da água podem alterar a estabilidade das caldas, sendo recomendadas temperaturas entre 15 °C e 25 °C para a maioria dos produtos fitossanitários (COSTA, 2009).

Para minimizar os efeitos negativos da qualidade da água, a utilização de adjuvantes e condicionadores tem se mostrado uma importante estratégia na tecnologia de aplicação. Produtos como redutores de pH, quelantes, tensoativos não iônicos e sulfato de amônio auxiliam na estabilização das caldas, neutralização de cátions e melhoria da absorção dos herbicidas pelas folhas das plantas daninhas (INOUE et al., 2007; AVILA NETO et al., 2023). Embora não apresentem ação fitossanitária direta, esses produtos desempenham papel fundamental na melhoria das propriedades físico-químicas das caldas de pulverização (QUEIROZ et al., 2008).

No manejo de *A. hybridus*, a qualidade da água assume elevada importância, principalmente em áreas com histórico de resistência a herbicidas. Falhas de controle decorrentes do uso de água inadequada podem favorecer a sobrevivência de plantas daninhas, aumentar o banco de sementes no solo e acelerar a disseminação de biótipos resistentes. Portanto, a escolha adequada da fonte de água, o monitoramento de seus parâmetros físico-químicos e o uso correto de adjuvantes são fundamentais para maximizar a eficiência das aplicações e garantir maior sustentabilidade no manejo dessa espécie (DUTRA et al., 2025).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Local e caracterização do solo e da área experimental

O experimento foi conduzido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Dois Vizinhos, localizada no estado do Paraná, sob coordenadas aproximadas de latitude 26°59' S e longitude 53°09' W, com altitude de 512 m. O clima da região é classificado como subtropical úmido mesotérmico (Cfa), segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). As atividades experimentais e avaliações foram realizadas em casa de vegetação pertencente a Fazenda Experimental da UTFPR Campus Dois Vizinhos e de uso do Grupo de Estudos em Herbologia (GEHerb).

O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, conforme Santos et al. (2018). Antes da instalação do experimento, foi realizada a caracterização química do solo utilizado. Para a realização da análise química, foram coletadas amostras simples em diferentes pontos do solo utilizado no experimento, proveniente da fazenda experimental da UTFPR. Após a peneiração e homogeneização do material destinado ao preenchimento dos vasos, as amostras foram reunidas para formar uma amostra composta representativa, posteriormente encaminhada para análise laboratorial (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise de solo da área experimental.

pH CaCl <sub>2</sub>	Ca <sup>-2</sup>	Mg <sup>-2</sup>	K <sup>+</sup>	H+AL	CTC	MO	P*
	-----Cmolc dm <sup>-3</sup> -----					g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>
5,10	7,90	1,30	0,52	4,28	14,00	38,87	12,32

\*mehlich.

Fonte: Autoria própria (2026).

### 4.2 Implantação e condução do experimento

O experimento foi implantado em vasos com capacidade de 500 mL, preenchidos com solo. Após o preparo dos vasos, foi realizada a semeadura de *Amaranthus hybridus* em 3 de setembro de 2025, distribuindo-se aproximadamente sete sementes por unidade experimental (Figura 1 – A). As sementes utilizadas foram fornecidas pela empresa Corteva Agriscience. não havendo informações ou

comprovação prévia quanto à presença de resistência aos herbicidas avaliados neste estudo.

Após a emergência das plântulas (Figura 1 – B), realizou-se o desbaste das unidades experimentais visando à uniformização da população de plantas. O primeiro desbaste ocorreu no dia 19 de setembro de 2025, permanecendo duas plantas por vaso. Posteriormente, no dia 23 de setembro de 2025, foi realizado novo ajuste, eliminando-se as plantas menos desenvolvidas que ainda permaneciam nos vasos, de modo que todas as unidades experimentais apresentassem duas plantas uniformes (Figura 1 – C).

Figura 1. Implantação e condução inicial do experimento com *Amaranthus hybridus*: (A) semeadura; (B) emergência das plântulas; e (C) padronização das unidades experimentais após o desbaste, com duas plantas por vaso.



Fonte: Autoria própria (2026).

Aos 14 dias após a semeadura, foi realizada adubação com monoamônio fosfato (MAP) dissolvido em água, aplicada uniformemente em todos os vasos, com o objetivo de proporcionar condições adequadas ao desenvolvimento das plantas antes da aplicação dos tratamentos.

### 4.3 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 5 x 6 (A x B), composto por cinco fontes de água e seis tratamentos herbicidas, com quatro repetições, totalizando 120 unidades experimentais.

O fator A correspondeu às diferentes fontes de água (Tabela 2) empregadas no preparo das caldas herbicidas, sendo elas: água de rio, água de açude, água de poço artesiano, água de torneira e água destilada. As amostras de água de rio, açude e água destilada foram obtidas nas dependências da UTFPR. A água de poço foi coletada em propriedade rural próxima ao campus, enquanto a água de torneira foi proveniente da área urbana do município de Dois Vizinhos-PR.

Tabela 2 – Fontes de água utilizadas no preparo das caldas herbicidas.

Fonte de água	Origem
Rio	UTFPR
Açude	UTFPR
Poço artesiano	Propriedade rural próxima
Torneira	Rede pública
Destilada	Laboratório da UTFPR

Fonte: Autoria própria (2026).

O fator B foi constituído por seis tratamentos: testemunha sem aplicação, glifosato, 2,4-D, glifosato + 2,4-D, halauxifeno-metílico e florpírauxifeno-benzil. As doses dos herbicidas seguiram as recomendações de bula dos respectivos produtos comerciais. Para o preparo das caldas, as doses recomendadas em bula foram ajustadas para um volume de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup>, resultando nas quantidades de produto apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Tratamentos herbicidas utilizados no experimento e respectivas quantidades empregadas no preparo de 2 L de calda.

Tratamento	Ingrediente ativo	Dose comercial (L ha <sup>-1</sup> )	Quantidade para 2 L de calda (mL)
T1		Testemunha sem aplicação	
T2	Glifosato	2,0	26,7
T3	2,4 D colina	1,5	20,0
T4	Glifosato+2,4 D	1,5	20,0
T5	Halauxifeno	0,1	1,3
T6	Florpírauxifeno-Benzílico	0,3	4,0

Fonte: Autoria própria (2026).

#### 4.4 Preparo das caldas e aplicação dos tratamentos

Foi realizada a caracterização das fontes de água das amostras antes do preparo das caldas herbicidas para cada uma das fontes utilizadas no experimento, através de pH e dureza. A análise de pH foi realizada por meio de pHmetro digital previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0. A dureza da água foi determinada pelo método titulométrico com EDTA (ácido etilenodiaminotetracético), conforme procedimentos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Sendo realizada uma única análise por fonte. Os valores obtidos foram expressos em  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  e foram classificadas quanto à dureza de acordo com os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) e por Queiroz et al. (2008), sendo consideradas muito moles quando apresentaram dureza inferior a  $50 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  e moles quando os valores se situaram entre 50 e  $100 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ .

Posteriormente, foram preparados 2 L de calda para cada tratamento, volume considerado suficiente para a aplicação em quatro vasos. As quantidades de herbicidas empregadas seguiram as recomendações dos fabricantes, sendo adicionados 2 mL de adjuvante em todas as caldas. Após a incorporação dos produtos, procedeu-se à nova determinação do pH das misturas, a fim de avaliar possíveis alterações ocasionadas pela interação entre os herbicidas e as diferentes fontes de água (Figura 2).

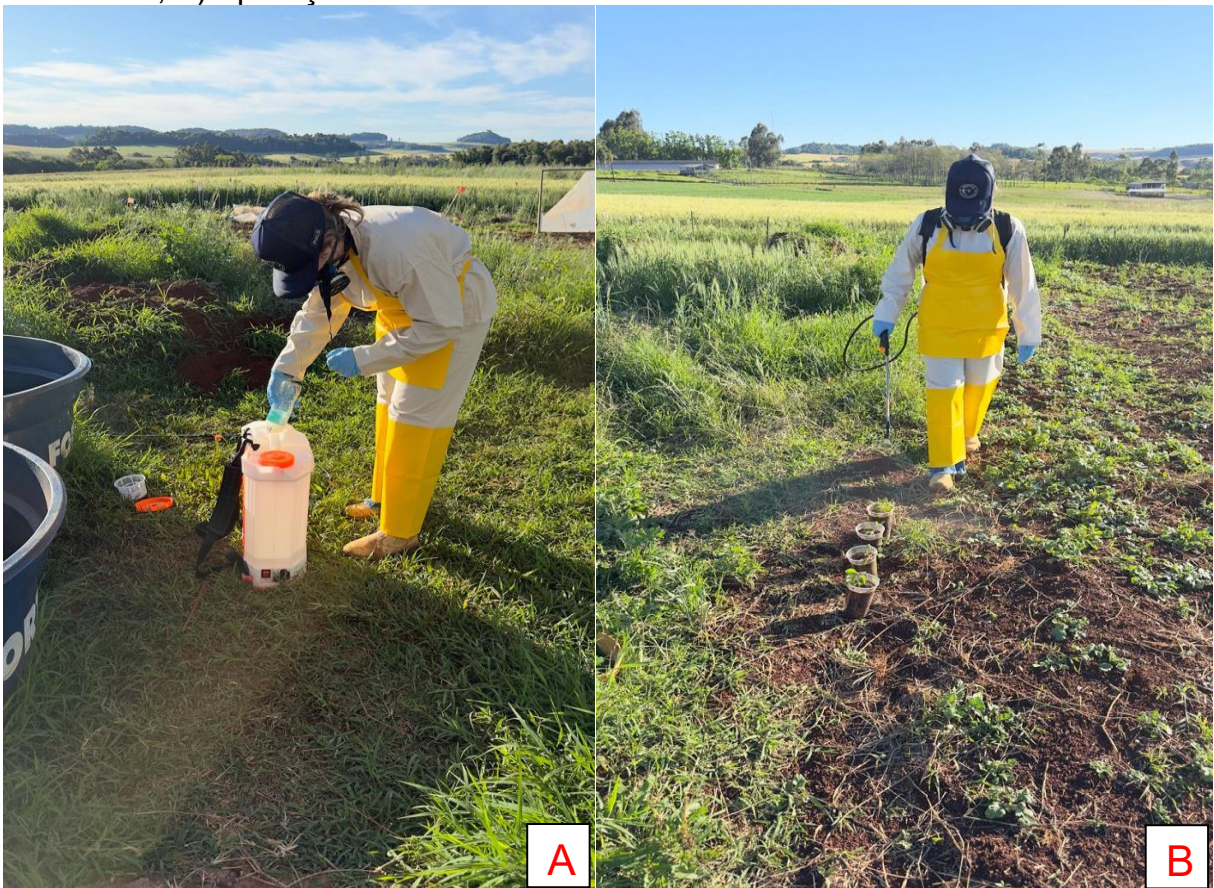
A aplicação dos tratamentos foi realizada no dia 23 de setembro de 2025, quando as plantas se encontravam no estágio fenológico de quatro a seis folhas verdadeiras. As pulverizações foram efetuadas com pulverizador costal elétrico (Figura 3) equipado com ponta do tipo leque. Para evitar a contaminação de tratamentos adjacentes, os vasos foram retirados da casa de vegetação durante a aplicação e distribuídos de forma a minimizar a deriva entre as unidades experimentais.

Figura 2. Preparo das caldas herbicidas utilizadas no experimento. A) Medição do herbicida; B) Preparo para o pulverizador; C) Determinação do pH das misturas.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 3. Etapas de preparo e aplicação dos herbicidas no experimento. A) Preparo das caldas; B) Aplicação dos tratamentos.



Fonte: Autoria própria (2025).

Entre cada troca de tratamento, foi realizado tríplice lavagem do pulverizador para evitar contaminação cruzada das caldas. Durante as aplicações, buscou-se manter velocidade constante de deslocamento, garantindo uniformidade na deposição das caldas sobre as plantas. As pulverizações foram realizadas sob condições ambientais de temperatura (21,0 °C), umidade relativa do ar (32,0) e velocidade do vento (3,15 m s<sup>-1</sup>), segundo os dados do INMET gerados pela da estação automática (A843) localizada no Campus da UTFPR Dois Vizinhos.

Após a aplicação, os vasos permaneceram por aproximadamente uma hora fora da casa de vegetação para melhorar a absorção, sendo posteriormente reposicionados em seus respectivos locais.

#### 4.4 Avaliações

Aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA) foi realizada a avaliação visual de controle utilizando escala percentual de 0 a 100%, conforme metodologia proposta pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD, 1995) (Tabela 4).

Tabela 4 – Escala de avaliação da ação dos herbicidas sobre as plantas daninhas.

<b>Porcentagem de Controle (%)</b>	<b>Descrição do Controle</b>
90 - 100	Excelente ou total
80 - 89	Bom, aceitável para infestação da área
70 - 79	Moderado, insuficiente para infestação da área
50 - 69	Deficiente ou inexpressivo
0 - 50	Ausência de controle

Fonte: Adaptada de SBCPD (1995).

A altura das plantas (cm) foi avaliada pelo uso de régua graduada realizada aos 7 DAA em todas as plantas, e aos 35 DAA para as plantas que sobreviveram (Figura 4 – A).

A área foliar foi determinada aos 35 DAA dos tratamentos, utilizando-se as plantas sobreviventes de cada unidade experimental. Para a mensuração, as folhas foram coletadas e submetidas à leitura em medidor eletrônico de área foliar pertencente ao Laboratório de Fisiologia Vegetal da UTFPR, sendo os resultados expressos em cm<sup>2</sup> por planta.

A massa seca da parte aérea (g) foi determinada à medida que as plantas atingiam 100% de controle. O material vegetal foi coletado e submetido à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 60 °C durante 72 horas ou até estabilizar o peso do material (Figura 4 – B). Posteriormente, foi realizada a pesagem em balança analítica.

Figura 4. Avaliação final de *Amaranthus hybridus* após aplicação dos tratamentos. A) Plantas sobreviventes aos 35 DAA da testemunha e demais tratamentos; B) Estufa utilizada para secagem do material vegetal e determinação da massa seca.



Fonte: Autoria própria (2025).

Os dados tabulados foram submetidos aos testes de normalidade dos resíduos de Shapiro-Wilk e de homogeneidade das variâncias de Levene, ambos ao nível de 5% de significância. Atendidos os pressupostos da análise, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F. Quando constatado efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Além da análise de variância, foi realizada análise de regressão linear simples com o objetivo de avaliar a relação entre o pH das caldas e as variáveis-resposta

analisadas. Para isso, o pH final das caldas foi considerado como variável independente, enquanto as avaliações de fitotoxicidade aos 7, 14, 21, 28 e 35 DAA e a massa seca da parte aérea, foram consideradas variáveis dependentes. Sendo apresentados os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e as equações ajustadas para cada variável.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 5 apresenta as características físico-químicas das cinco fontes de água utilizadas no preparo das caldas. O pH das águas variaram de 3,74 (açude) a 9,75 (poço), sendo que essa amplitude pode influenciar o pH das caldas preparadas. O pH é um dos principais parâmetros físico-químicos relacionados à qualidade da água para pulverização, pois influencia a estabilidade dos ingredientes ativos e a ocorrência de reações de hidrólise nas caldas. Em geral, valores elevados de pH favorecem a degradação de determinados herbicidas, reduzindo sua persistência e comprometendo sua eficiência biológica. E águas mais ácidas tendem a aumentar a estabilidade de diversos produtos fitossanitários, prolongando sua vida útil na calda (DEVKOTA; JOHNSON, 2019; DARAMOLA et al., 2022).

Tabela 5 – Fontes de água utilizadas no preparo das caldas herbicidas.

Fonte de água	pH	Dureza (mg L <sup>-1</sup> ) CaCO <sub>3</sub>	Classificação
Rio	4,82	11,9	Muito mole
Açude	3,74	11,4	Muito mole
Poço artesiano	9,75	2,0	Muito mole
Torneira	8,09	21,4	Muito mole
Destilada	6,86	1,0	Muito mole

Classificação de dureza conforme Resolução CONAMA nº 357/2005 e Queiroz et al. (2008): muito mole (<50 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>), mole (50 a 100 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>). Valores únicos por fonte, medidos uma única vez. Fonte: Autoria própria (2026).

Todos os valores de dureza foram inferiores a 50 mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>, classificando todas as fontes como muito moles, o que indica baixa concentração de íons cálcio e magnésio em todas as águas avaliadas. Esse resultado sugere baixa probabilidade de interferência das fontes de água na atividade dos herbicidas testados.

A baixa dureza observada nessa pesquisa, provavelmente contribuiu para a ausência de diferenças significativas ( $p > 0,001$ ) entre as fontes de água avaliadas, uma vez que não houve concentração suficiente de cátions para interferir na estabilidade das caldas ou no desempenho dos herbicidas utilizados. Em águas com elevada dureza, esses cátions podem formar complexos com moléculas herbicidas, especialmente com produtos formulados como sais, diminuindo sua absorção e eficiência biológica (THELEN; JACKSON; PENNER, 1995; KISSMANN; GROTH, 1999; DEVKOTA; JOHNSON, 2019).

Os valores de pH das caldas variaram de 4,83 a 7,81, com média geral de 6,01 (Tabela 6). Observou-se que os herbicidas exerceram influência sobre o pH final das misturas, independentemente da fonte de água utilizada. As menores médias de pH foram verificadas nas caldas contendo glifosato (4,95), enquanto os maiores valores ocorreram nas caldas preparadas com florpiauxifeno-benzil (7,39) e halauxifeno-metílico (6,56).

A redução do pH observada nas caldas contendo glifosato está relacionada às características químicas da molécula, que possui grupos ácidos capazes de promover acidificação da solução. Segundo Devkota e Johnson (2019), herbicidas podem alterar significativamente as propriedades químicas da água utilizada como veículo de pulverização, modificando parâmetros como pH da calda.

Já as caldas contendo halauxifeno-metílico e, principalmente, florpiauxifeno-benzil apresentaram valores de pH mais próximos da neutralidade ou levemente alcalinos. Os valores observados permaneceram dentro de uma faixa considerada adequada para pulverizações agrícolas, não sendo constatadas reduções na eficiência dos tratamentos em função do pH das caldas (DE CARVALHO et al., 2009). Sugerindo que os herbicidas avaliados apresentaram estabilidade satisfatória nas condições experimentais, corroborando os resultados obtidos por Devkota e Johnson (2019), que destacam que os efeitos do pH sobre a eficácia dos herbicidas dependem não apenas da qualidade da água, mas também das características químicas de cada ingrediente ativo.

Tabela 6 - Valores médios de pH das caldas em função da interação entre herbicidas e fontes de água.

	Rio	Açude	Poço	Torneira	Destilada	Média
Glifosato	4,90	4,83	5,19	4,98	4,84	4,95
Glifosato+2,4D	5,17	5,49	5,58	5,59	5,52	5,47
2,4D Colina	5,48	5,09	6,27	6,29	5,31	5,69
Halausifeno	5,08	6,88	7,19	7,75	5,92	6,56
Florpiauxifeno	7,12	7,19	7,19	7,81	7,62	7,39
Média	5,55	5,90	6,28	6,48	5,84	6,01
CV%	16,97					

Fonte: Autoria própria (2026).

A Tabela 7 apresenta a matriz de correlação de Pearson entre as variáveis avaliadas no experimento. Observou-se correlação negativa significativa entre a fitotoxicidade aos 35 DAA (TOX 35) e a massa seca (MS) ( $r = -0,737$ ;  $p < 0,001$ ),

indicando que maiores níveis de controle resultaram em menor acúmulo de biomassa pelas plantas de *Amaranthus hybridus*. Da mesma forma, a fitotoxicidade aos 7 DAA (TOX 7) apresentou correlação negativa com a massa seca ( $r = -0,638$ ;  $p < 0,001$ ), demonstrando que os efeitos iniciais dos herbicidas influenciaram diretamente o crescimento posterior das plantas.

Tabela 7. Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis avaliadas no experimento.

Variável	MS	TOX 35	IAF	pH Calda	Alt. 7DAA	TOX 7	Dureza	pH água
MS	—							
TOX 35	0,737***	—						
IAF	0,324	-0,335	—					
pH Calda	0,556***	0,689***	0,227	—				
Alt. 7DAA	0,438***	0,368***	0,310	0,362***	—			
TOX 7	0,638***	0,725***	0,368*	0,583***	0,525***	—		
Dureza	-0,025	-0,136	0,036	0,099	-0,089	-0,033	—	
pH água	0,019	-0,044	0,003	0,246*	0,143	0,018	-0,220*	—

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ . ns: não significativo. IAF calculado com  $n=34$  (plantas sobreviventes); demais variáveis com  $n=100$  (exceto Altura 7DAA:  $n=94$ ). Dureza e pH da água: valores únicos por fonte (5 por fonte  $\times$  20 tratamentos).

Fonte: Autoria própria (2025).

Também foram observadas correlações significativas entre o pH da calda e as variáveis biológicas avaliadas. O pH da calda apresentou correlação positiva com a massa seca ( $r = 0,556$ ;  $p < 0,001$ ) e com a altura das plantas aos 7 DAA ( $r = 0,362$ ;  $p < 0,001$ ), além de correlação negativa com a fitotoxicidade aos 7 DAA ( $r = -0,583$ ;  $p < 0,001$ ) e aos 35 DAA ( $r = -0,689$ ;  $p < 0,001$ ). Esses resultados indicam que caldas com pH mais elevado estiveram associadas a menor eficiência de controle e maior desenvolvimento das plantas daninhas.

Do ponto de vista fisiológico, o pH da calda pode interferir na dissociação iônica, estabilidade química e absorção foliar dos herbicidas, influenciando diretamente a quantidade de ingrediente ativo que atinge os sítios de ação (QUEIROZ et al., 2008; PEIXOTO; CAIXETA, 2020). Segundo Inoue et al. (2007), caldas com pH mais ácido

tendem a favorecer a estabilidade e a absorção de herbicidas sistêmicos, especialmente moléculas sensíveis à ionização. Além disso, Cunha et al. (2020) destacam que a eficácia dos herbicidas pode ser influenciada pelas características físico-químicas da água e da calda, incluindo o pH, que afeta a disponibilidade e a absorção dos ingredientes ativos.

Por outro lado, a dureza da água não apresentou correlação significativa com a massa seca, fitotoxicidade ou altura das plantas, corroborando os resultados da análise de variância, que não identificou efeito das diferentes fontes de água sobre a eficiência dos herbicidas. Esses resultados sugerem que, nas condições avaliadas, as variações de dureza foram insuficientes para comprometer o desempenho dos produtos testados, reforçando a importância do pH da calda como fator de maior relevância para o controle de *A. hybridus* (CUNHA et al., 2020).

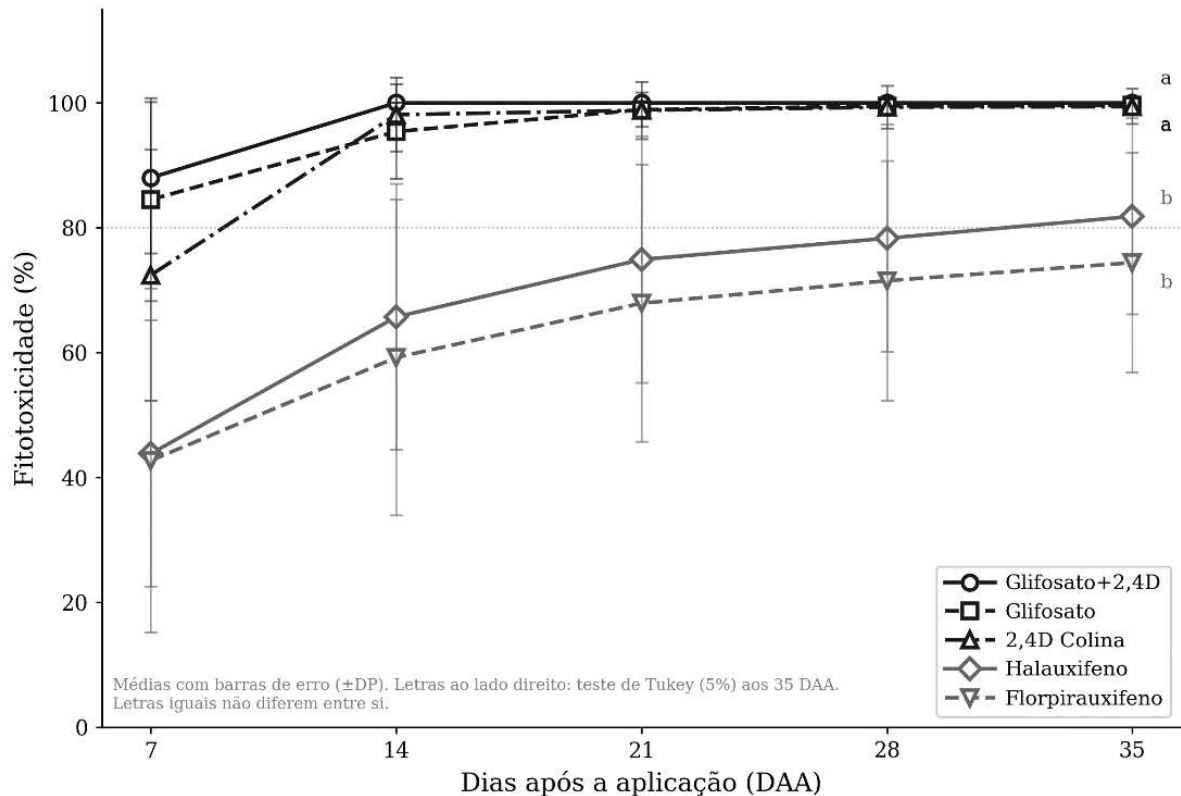
Os menores valores de pH foram observados nas caldas contendo glifosato. Esse herbicida, que inibe a EPSPS, pode sofrer alterações no estado de ionização em pH elevado, favorecendo interações com cátions presentes na água e reduzindo sua disponibilidade para absorção (DUTRA et al., 2025). Embora os herbicidas auxínicos (2,4-D, halauxifeno-metilico e florpiauxifeno-benzil) sejam geralmente menos sensíveis a variações extremas de pH quando comparados ao glifosato, mudanças na dissociação molecular ainda podem influenciar sua penetração cuticular e translocação, uma vez que a forma não-dissociada (predominante em pH ácido) apresenta maior lipofilicidade e facilidade de absorção (STERLING, 1994).

*A. hybridus*, espécie com metabolismo C<sub>4</sub>, elevado potencial competitivo e rápido crescimento, possui grande capacidade de recuperação quando o controle inicial é comprometido (GARCÍA et al., 2020; DUTRA et al., 2025). Assim, pequenas reduções na absorção ou translocação dos herbicidas resultam em diferenças progressivamente maiores ao longo do tempo (STERLING, 1994; GONÇALVES NETTO et al., 2025).

A Figura 5 apresenta a evolução temporal da fitotoxicidade dos herbicidas avaliados sobre *A. hybridus* ao longo das cinco épocas de avaliação. Não foram observadas interações significativas entre os fatores estudados, nem efeito das diferentes fontes de água sobre a variável. Entretanto, houve diferença significativa

entre os herbicidas avaliados. Os tratamentos glifosato + 2,4-D, glifosato e 2,4-D colina proporcionaram os maiores níveis de fitotoxicidade durante todo o período experimental, atingindo valores próximos a 100% de controle entre 14 e 21 DAA e mantendo esse desempenho até 35 DAA.

Figura 5. Evolução temporal da fitotoxicidade média (%) dos herbicidas avaliados em cinco épocas após a aplicação (DAA).



\*Barras verticais representam o desvio-padrão (n=20). Letras ao lado direito indicam o agrupamento pelo teste de Tukey (5%) na última época avaliada (35 DAA). Letras iguais indicam ausência de diferença estatística entre os herbicidas.

Fonte: Autoria própria (2025).

O elevado controle promovido pelo glifosato está relacionado ao seu mecanismo de ação como inibidor da enzima EPSPS, responsável pela rota do ácido chiquímico. A interrupção dessa via metabólica impede a síntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano, comprometendo a produção de proteínas, lignina e diversos metabólitos secundários essenciais ao crescimento vegetal (TAIZ et al., 2017). A elevada suscetibilidade da população avaliada permitiu que os tratamentos contendo glifosato atingissem rapidamente elevados níveis de controle.

A associação glifosato + 2,4-D apresentou os maiores valores de fitotoxicidade desde a primeira avaliação. Esse comportamento pode ser atribuído à complementaridade entre os mecanismos de ação dos dois herbicidas. Enquanto o glifosato compromete processos metabólicos fundamentais, o 2,4-D atua como mimetizador de auxina, promovendo crescimento desordenado, epinastia, hiperplasia, desorganização vascular e aumento da produção de etileno e espécies reativas de oxigênio (ROS), culminando em intenso estresse oxidativo e morte celular (GROSSMANN, 2010). A atuação simultânea desses mecanismos reduz a capacidade de recuperação das plantas e acelera a manifestação dos sintomas.

O 2,4-D colina aplicado isoladamente também apresentou elevada eficiência, alcançando níveis de controle semelhantes aos tratamentos contendo glifosato a partir dos 21 DAA. Após sua absorção e translocação pelos tecidos vasculares, ocorre desregulação hormonal, aumento da biossíntese de etileno e ácido abscísico, comprometimento do transporte de fotoassimilados e colapso dos tecidos meristemáticos, resultando na morte da planta (GROSSMANN, 2010). Como esses efeitos dependem do acúmulo progressivo de alterações fisiológicas, é comum que a fitotoxicidade aumente gradativamente ao longo do tempo.

Em contrapartida, halauxifeno-metílico e florpirauxifeno-benzil apresentaram evolução mais lenta dos sintomas e menores níveis finais de controle, alcançando aproximadamente 82% e 74% de fitotoxicidade aos 35 DAA, respectivamente. Esses tratamentos não diferiram estatisticamente entre si, porém permaneceram inferiores aos demais herbicidas avaliados, evidenciando menor eficiência no controle de *A. hybridus* nas condições do presente estudo.

Embora estudos específicos relacionando a qualidade da água à eficácia agrônômica do halauxifeno-metílico sejam escassos, evidências indicam que o florpirauxifeno-benzil pode apresentar sensibilidade às condições físico-químicas do meio aquoso, especialmente ao pH, o qual pode acelerar processos de hidrólise e afetar sua estabilidade em condições alcalinas (ZHOU et al., 2023). Contudo, considerando que não houve efeito significativo das diferentes fontes de água sobre a fitotoxicidade no presente estudo, a menor eficiência observada para esses arilpicolinatos parece estar mais relacionada às características intrínsecas das moléculas do que propriamente à qualidade da água utilizada nas pulverizações.

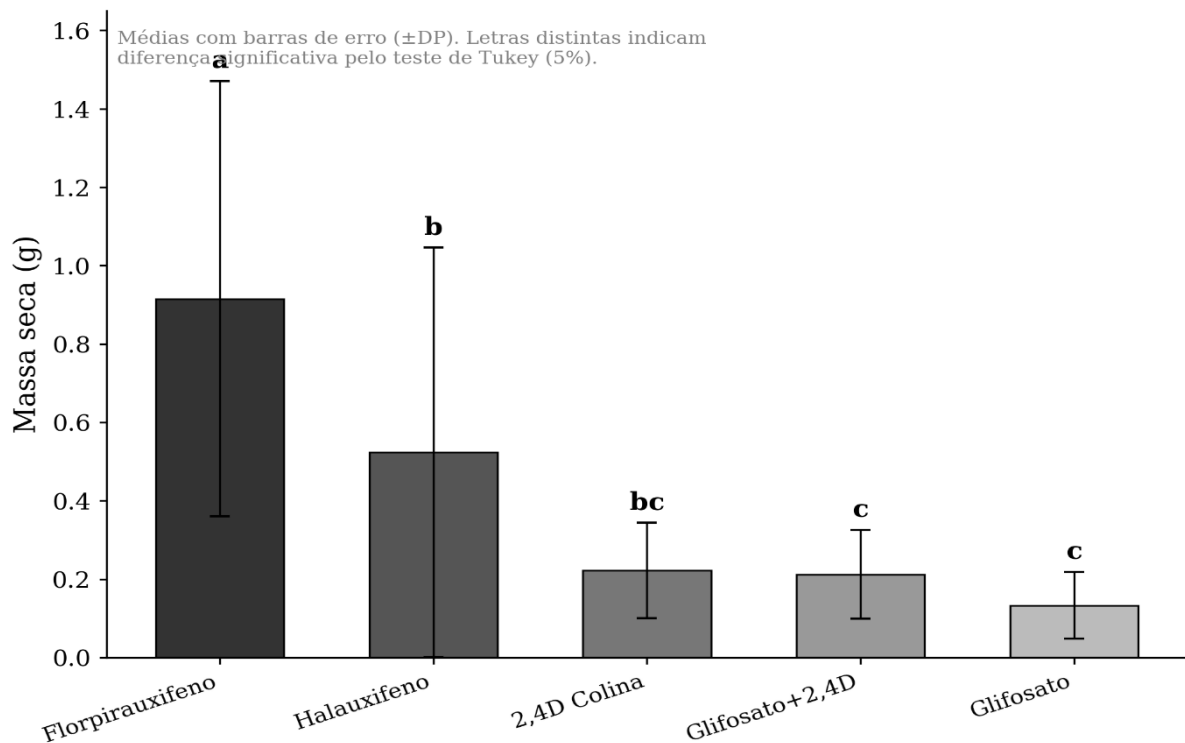
Diferenças nas características físico-químicas desses herbicidas, como pKa, lipofilicidade, grau de dissociação e afinidade pelos receptores de auxina, podem

influenciar a absorção, translocação e acumulação celular dos compostos, afetando a velocidade e a intensidade da resposta fisiológica das plantas (STERLING, 1994; AVILA NETO et al., 2023). Dessa forma, parte das plantas manteve atividade metabólica suficiente para sobreviver até o final do experimento, refletindo os menores percentuais de controle observados.

Em conjunto, os resultados demonstram que a evolução temporal da fitotoxicidade esteve diretamente relacionada aos mecanismos de ação dos herbicidas avaliados, sendo os tratamentos contendo glifosato, isolado ou associado ao 2,4-D, os mais eficientes para o manejo de *A. hybridus* nas condições deste estudo.

A Figura apresenta a massa seca da parte aérea de *A. hybridus* aos 35 DAA para os diferentes herbicidas. Os resultados corroboram as avaliações de fitotoxicidade, demonstrando que os tratamentos com glifosato isolado (0,133 g) e glifosato + 2,4-D (0,212 g) proporcionaram os menores acúmulos de biomassa, enquanto o florpírauxifeno-benzil resultou na maior massa seca remanescente (0,915 g). O halauxifeno-metílico apresentou valores intermediários, ao passo que o 2,4-D colina não diferiu estatisticamente dos tratamentos que proporcionaram os maiores níveis de controle.

Figura 6. Massa seca média (g) das plantas daninhas por herbicida.



\*Barras verticais representam o desvio-padrão (n=20). Letras distintas acima das barras indicam diferença significativa pelo teste de Tukey (5%). Herbicidas ordenados do maior para o menor valor de massa seca.

Fonte: Autoria própria (2026).

Destaca-se que as misturas herbicidas empregadas neste estudo foram preparadas utilizando doses compatíveis com as recomendações dos fabricantes, ajustadas proporcionalmente ao volume de aplicação adotado. Assim, a elevada eficiência observada para a associação glifosato + 2,4-D não pode ser atribuída ao emprego de concentrações excessivas ou à intensificação artificial dos efeitos fitotóxicos decorrentes de incompatibilidades por superdosagem, mas sim à complementaridade dos mecanismos de ação envolvidos. Em misturas realizadas com proporções inadequadas possam ocasionar antagonismo ou incompatibilidades físico-químicas, comprometendo a estabilidade das caldas e a eficiência biológica dos herbicidas, tais condições não representam a realidade experimental do presente estudo.

A redução acentuada da massa seca observada nos tratamentos contendo glifosato está diretamente relacionada ao seu mecanismo de ação. Como inibidor da enzima EPSPS, o glifosato bloqueia a rota do ácido chiquímico, impedindo a síntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano (AOUN et al., 2025). Essa interrupção compromete a produção de proteínas, enzimas e metabólitos secundários essenciais ao crescimento vegetal, resultando na paralisação do desenvolvimento e na expressiva redução do acúmulo de biomassa (STERLING, 1994; RIVAS-GARCIA et al., 2022).

A associação glifosato + 2,4-D destacou-se pela complementaridade dos mecanismos de ação. Enquanto o glifosato compromete processos metabólicos fundamentais, o 2,4-D atua como mimetizador de auxina, promovendo desregulação hormonal, epinastia, desorganização vascular e aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), acelerando a morte celular e reduzindo a capacidade de recuperação das plantas (GROSSMANN, 2010; DELLAFERRERA et al., 2018). De forma semelhante, o 2,4-D colina aplicado isoladamente promoveu elevada redução da massa seca, evidenciando a suscetibilidade de *A. hybridus* aos herbicidas auxínicos.

Os maiores valores de massa seca observados para halauxifeno-metílico e, principalmente, florpiauxifeno-benzil podem estar relacionados à menor eficiência

desses herbicidas no controle de *A. hybridus* em comparação aos demais tratamentos. Embora ambos pertençam ao grupo dos herbicidas auxínicos (HRAC 4), características físico-químicas específicas das moléculas, como pKa, lipofilicidade e afinidade pelos receptores de auxina, podem influenciar os processos de absorção foliar, translocação e intensidade das respostas fisiológicas desencadeadas nas plantas (THOMPSON et al., 2015). Como consequência, os sintomas tendem a se desenvolver de forma mais gradual, permitindo a manutenção do crescimento vegetal por maior período e resultando em maior produção de biomassa.

Ainda, *A. hybridus* é uma espécie C4 de rápido crescimento e elevado potencial competitivo, apresentando grande capacidade de recuperação quando o controle inicial não é plenamente eficiente (GONÇALVES NETTO et al., 2025). Assim, herbicidas com ação mais lenta ou menos intensa permitem maior sobrevivência e acúmulo de matéria seca, o que explica o maior acúmulo ao longo do experimento.

A Tabela 7 apresenta os valores médios de altura das plantas aos 7 DAA, altura das plantas sobreviventes aos 35 DAA e índice de área foliar (IAF) de *A. hybridus* submetido aos diferentes tratamentos herbicidas. Para a variável altura de planta aos 7 DAA, não houve efeito da interação entre os herbicidas avaliados e as diferentes fontes de água ( $p > 0,05$ ), como também não houve efeito ( $p > 0,05$ ) isolado para fontes de água. Para os tratamentos com herbicida, houve diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ). Apresentando diferença apenas em relação a testemunha. Evidenciando que os ingredientes ativos foram capazes de interferir precocemente no desenvolvimento inicial da espécie. Os diferentes princípios ativos testados, apresentaram média de altura a 7 DAA de 4,87 cm, isso foi 55,16% menor em comparação a média da altura da testemunha.

Tabela 7 – Média altura de plantas aos 7 dias após a aplicação (DAA), altura das plantas sobreviventes aos 35 DAA e índice de área foliar (IAF) de *Amaranthus hybridus* submetido a diferentes tratamentos herbicidas.

Herbicida	Altura 7 DAA (cm)	Altura sobreviventes (cm)	IAF
Testemunha	10,84a	25,87	7,77
2,4D Colina	5,71b	16,00	4,20
Florpirauxifeno	5,47b	17,23	7,71
Glifosato	3,37b	4,17	3,96
Glifosato+2,4D	4,33b	-	-

Halauxifeno	5,46b	10,25	8,06
Média	5,86	14,70	6,34
CV%	31,7	-	-

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. DAA: dias após a aplicação; IAF: índice de área foliar; -: ausência de dados (nenhuma planta sobrevivente ou n insuficiente). Testemunha: plantas sem aplicação de herbicida.

Fonte: Autoria própria (2026).

A redução da altura observada nos tratamentos herbicidas está relacionada aos efeitos fisiológicos desencadeados logo após a aplicação. O glifosato atua pela inibição da enzima EPSPS, comprometendo a síntese de aminoácidos aromáticos essenciais e reduzindo progressivamente a atividade meristemática e a expansão celular (OLIVEIRA JUNIOR, 2011; TAIZ et al., 2017). Os herbicidas auxínicos promovem desregulação hormonal, alterações na divisão e alongação celular, epinastia e desorganização vascular, resultando na interrupção do crescimento normal das plantas suscetíveis (GROSSMANN, 2010). Embora os mecanismos de ação sejam distintos, os resultados indicam que todos os herbicidas avaliados foram capazes de restringir o crescimento inicial de *A. hybridus*.

Os valores de IAF corroboram os resultados observados para altura final e massa seca. O glifosato apresentou um dos menores índices de área foliar (3,96), enquanto florpírauxifeno-benzil (7,71) e halauxifeno-metílico (8,06) apresentaram valores semelhantes aos da testemunha (7,77). Como a área foliar representa o principal sítio de interceptação luminosa e produção de fotoassimilados, a manutenção dessa estrutura indica maior capacidade de crescimento e recuperação das plantas sobreviventes. Considerando que *A. hybridus* é uma espécie C<sub>4</sub> de rápido crescimento e elevado potencial competitivo, reduções menos intensas da área foliar favorecem a continuidade do desenvolvimento vegetal e o acúmulo de biomassa ao longo do ciclo.

Os resultados de altura, IAF e massa seca estiveram diretamente relacionados aos níveis de fitotoxicidade observados nas avaliações anteriores. Os tratamentos que apresentaram maiores percentuais de controle ao longo do período experimental, especialmente glifosato, glifosato + 2,4-D e 2,4-D colina, também promoveram maior supressão do crescimento vegetativo de *A. hybridus*. Em contrapartida, halauxifeno-metílico e florpírauxifeno-benzil permitiram maior desenvolvimento das plantas sobreviventes, refletido nos maiores valores de altura final e IAF. Esses resultados

evidenciam que os sintomas fitotóxicos observados visualmente foram acompanhados por alterações estruturais e fisiológicas, confirmando a relação entre a eficiência dos herbicidas e a capacidade de restringir o desenvolvimento da espécie.

## 6 CONCLUSÕES

As diferentes fontes de água avaliadas não influenciaram significativamente a eficiência dos herbicidas no controle de *Amaranthus hybridus*, provavelmente em razão da baixa dureza observada em todas as amostras. No entanto, o pH das caldas apresentou relação com o desempenho dos tratamentos, sendo que valores mais baixos estiveram associados a maiores níveis de fitotoxicidade e menor acúmulo de biomassa.

Entre os herbicidas avaliados, glifosato, glifosato + 2,4-D e 2,4-D colina proporcionaram os maiores níveis de controle da espécie, promovendo maior redução do crescimento vegetativo, da área foliar e da massa seca. Destacou-se a associação glifosato + 2,4-D, que apresentou a maior eficiência de controle nas condições deste estudo.

A eficiência do manejo de *A. hybridus* foi determinada principalmente pelo herbicida utilizado, enquanto as fontes de água avaliadas não alteraram significativamente os resultados obtidos.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. *et al.* Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, V.22, N. 6, P.711–728, 2013. Disponível em: <https://www.schweizerbart.de/content/papers/download/82078>. Acesso em: 20 mar. 2026.
- AOUN, Pamela G. *et al.* Glyphosate Use in Crop Systems: Risks to Health and Sustainable Alternatives. **Toxics**, v. 13, n. 11, p. 971, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2305-6304/13/11/971>. Acesso em: 15 abr. 2026.
- APHA – American Public Health Association; Awwa – American Water Works Association; Wef – Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2012.
- AVILA NETO, Roberto Costa *et al.* pH and water hardness on the efficiency of auxin mimics herbicides. **Ciência Rural**, v. 54, n. 4, p. e20230005, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/bGG4PCyhYLqyFX3xddRshfC/?lang=en>. Acesso em: 25 mar. 2026.
- BARROSO, Arthur Arrobas Martins; HIJANO, Neriane; ALVES, Pedro Luis da Costa Aguiar. Biologia das plantas daninhas resistentes ao glyphosate no Brasil. **Cerrado Agrociências**, v. 8, p. 75–87, 2017. Disponível em: <https://revistas.unipam.edu.br/index.php/cerradoagrociencias/article/view/4117>. Acesso em: 20 set. 2025.
- BARROSO, Arthur Arrobas; MURATA, Afonso Takao. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. - Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021. 547 p.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/?id=450&option=com\\_sisconama&task=arquivo.download](https://conama.mma.gov.br/?id=450&option=com_sisconama&task=arquivo.download). Acesso em: 25 mai. 2026.
- CARVALHO, Saul Jorge Pinto De; CHRISTOFFOLETI, Pedro Jacob. Influência da luz e da temperatura na germinação de cinco espécies de plantas daninhas do gênero *Amaranthus*. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 527–533, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/SzLdWpwXzWSsdSJKLjWsfHN/>. Acesso em: 20 set. 2025.
- CEPEA - CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA; CNA - CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **PIB do agronegócio cresce 12,20% em 2025, impulsionado pela pecuária**. Piracicaba: Cepea/Esalq-USP; Brasília: CNA, 2026. 29 p. Disponível em: <https://www.cepea.org.br/upload/kceditor/files/PIB-4tri2025-27.ABRIL.2026.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2026.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira. Grãos – Safra 2025/26, 7º levantamento.** Conab, n. 7, v.13, 2026. 123 p.

CORTEVA AGRISCIENCE. **Technical bulletin: Arylex™ active.** 2019. Disponível em:

[https://www.corteva.com/content/dam/dpagco/corteva/global/corporate/general/files/active-ingredients/DF\\_Arylex-TechBulletin\\_1-29-19.pdf](https://www.corteva.com/content/dam/dpagco/corteva/global/corporate/general/files/active-ingredients/DF_Arylex-TechBulletin_1-29-19.pdf). Acesso em: 21 mar. 2026.

COSTA, Deise Isabel. **Eficiência e qualidade das aplicações de fungicidas, por vias terrestre e aérea, no controle de doenças foliares e no rendimento de grãos de soja e milho.** 2009. 126 f. Tese (Doutorado em Agraonomia) –

Universidade de Passo Fundo, 2009. Disponível em:

<https://repositorio.upf.br/handle/123456789/9140>. Acesso em: 20 out. 2025.

CUNHA, João PAR et al. Water hardness and pH in the effectiveness of glyphosate formulations. **Engenharia Agrícola**, v. 40, p. 555-560, 2020. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/eagri/a/pLgPVfcr43wp8YNLNP6SzCD/?format=html&lang=em>. Acesso em: 20 mai. 2026.

DAN, Hugo de Almeida et al. Controle de plantas daninhas na cultura do milho por meio de herbicidas aplicados em pré-emergência. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 4, p. 388-393, 2010. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/pat/a/TqFw5CfnKq8b8tthHgdnWxw/?lang=pt>. Acesso em: 12 abr. 2026.

DARAMOLA, Olumide S. et al. Spray water quality and herbicide performance: a review. **Weed Technology**, v. 36, n. 6, p. 758-767, 2022. Disponível em:

<https://www.cambridge.org/core/journals/weed-technology/article/spray-water-quality-and-herbicide-performance-a-review/BDD446C6C1ECD0E961A4F9A021FD2D17>. Acesso em: 25 mai. 2026.

DE CARVALHO, Saul Jorge Pinto et al. Eficácia e pH de caldas de glifosato após a adição de fertilizantes nitrogenados e utilização de pulverizador pressurizado por CO<sub>2</sub>. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 569-575, 2009. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/pab/a/WqqJzRF49Qk5z4d3S4mh6Db/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 12 mai. 2026.

DELLAFERRERA, Ignacio et al. First report of *Amaranthus hybridus* with multiple resistance to 2, 4-D, dicamba, and glyphosate. **Agronomy**, v. 8, n. 8, p. 140, 2018.

Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/8/8/140>. Acesso em: 14 abr. 2026.

DEVKOTA, Pratap; JOHNSON, William G. Efficacy of dicamba and glyphosate as influenced by carrier water pH and hardness. **Weed technology**, v. 34, n. 1, p. 101-106, 2019. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-technology/article/efficacy-of-dicamba-and-glyphosate-as-influenced-by-carrier-water-ph-and-hardness/D22CCE8BB58354C703AB1D2367EDC90C>. Acesso em: 27 mai. 2026.

DUTRA, Edinilso Gilnei et al. Avaliação de biótipos de *Amaranthus hybridus* com possível resistência ao herbicida glifosato, em diferentes regiões do estado do rio

grande do sul. **RAMVI-Revista de Agronomia e Medicina Veterinária IDEAU**, v. 12, n. 1, p. e348-e348, 2025. Disponível em: <https://www.periodicos.ideau.com.br/index.php/ramvi/article/view/348>. Acesso em: 27 mai. 2026.

FIGUEIREDO, Marcelo RA et al. Metabolism of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid contributes to resistance in a common waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) population. **Pest management science**, v. 74, n. 10, p. 2356-2362, 2018. Disponível em: <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.4811>. Acesso em: 10 mai. 2026.

GARCÍA, Maria J. et al. Multiple mutations in the EPSPS and ALS genes of *Amaranthus hybridus* underlie resistance to glyphosate and ALS inhibitors. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 17681, 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-74430-0>. Acesso em: 20 abr. 2026.

GROSSMANN, Klaus. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 66, n. 2, p. 113-120, 2010. Disponível em: <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.1860>. Acesso em: 29 mai. 2026.

INOUE, Miriam Hiroko et al. Adição de redutores de pH e doses de glyphosate na dessecação de plantas daninhas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 6, n. 1, p. 22-31, 2007. Disponível em: <http://www.rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/51>. Acesso em: 20 abr. 2026.

KISSMANN, Kurt Gottfried; GROTH, Doris. **Plantas infestantes e nocivas: tomo 2**. 2. ed. São Paulo : Basf Brasileira, 1999. 978 p.

LIRA-DURAND, Emannuella Hayanna Alves. **Plantas espontâneas de pastagens naturais: aspectos fitossociológicos, dispersão e métodos de controle**. 2021. 109 f. Tese (Doutorado em desenvolvimento e meio ambiente) - Universidade Federal da Paraíba. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/22650>. Acesso em: 20 mai. 2026.

MARTINS, Jean Marcos de Moraes; ANDREANI JUNIOR, Roberto. Impactos das plantas daninhas nas culturas agrícolas e seus métodos de controle. **Revista VIDA: Exatas e Ciências da Terra (VIECIT)**, v. 1, n. 2, p. 34-54, 2023. Disponível em: <https://periodicos.universidadebrasil.edu.br/index.php/viecit/article/view/151>. Acesso em: 27 mai. 2026.

MARTINS, Matheus Bastos et al. Manejo de *Amaranthus hybridus* em área de integração lavoura-pecuária na região sul do rio grande do sul. **Weed Control Journal**, v. 19, n. 4, p. e734 (1-12), 2020. Disponível em: <http://www.rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/734>. Acesso em: 14 mai. 2026.

MELHORANÇA, A. L.; KARAM, D.; BRIGHENTI, A. *et al.* (2013). **Árvore do conhecimento: Milho – Tratos Culturais**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec). 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/tratos-culturais>>. Acessado em 14 de set. de 2025.

MENDES, Kassio Ferreira; DA SILVA, Antonio Alberto. **Plantas daninhas: biologia e manejo**. Oficina de Textos, 2022. Disponível em: [https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=hHSHEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1966&dq=Plantas+daninhas:+biologia+e+manejo&ots=YsT40WcUon&sig=T0Wof\\_AeqF6V5X8Uw94whhV9ykA](https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=hHSHEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1966&dq=Plantas+daninhas:+biologia+e+manejo&ots=YsT40WcUon&sig=T0Wof_AeqF6V5X8Uw94whhV9ykA). Acesso em: 20 abr. 2026.

MINOZZI, Guilherme B.; MONQUERO, Patricia A.; PEREIRA, Paulo A. Eficácia de diferentes manejos das plantas daninhas na cultura da soja transgênica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 3, p. 406-412, 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1190/119032103015.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2026.  
MIRZAEI, M. *et al.* The response of different weed species to glyphosate using ammonium sulfate and hard water. **Planta Daninha**, v. 37, p. e019182818, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/yhxnS854nymnhfCJPDcHkNh/?lang=en>. Acesso em: 29 mar. 2026.

NICOLAI, M. *et al.* **Identificação e controle de *Amaranthus palmeri* e *Amaranthus hybridus***. Herbicide Resistance Action Committee - HRAC, 2024. Disponível em: <https://www.hrac-br.org/folder>. Acesso em: 04 out. 2025.

NONEMACHER, F. *et al.* Herbicide association applied to control weeds in glyphosate-resistant soybean, **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.16, n.2, p.152-162, 2017. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20183332416>. Acesso em: 29 mar. 2026.

OLIVEIRA JUNIOR, Rubem Silvério. Mecanismo de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA JUNIOR, Rubem Silvério; CONSTANTIN, Jamil; INOUE, Miriam Hiroko (Eds.). **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 141-192.

OLIVEIRA, Maurilio Fernandes *et al.* **Tolerância diferencial de híbridos de milho ao herbicida nicosulfuron**. Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica 274 (INFOTECA-E), 2021. 15 p. Disponível em: <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-infoteca-e-doc-1136317/Description>. Acesso em: 21 mai. 2026.

PEIXOTO, Ronaldo Luiz Ottoni; CAIXETA, Daniel Ferreira. Adequação do pH de águas utilizadas na aplicação de defensivos na região de Goianésia-GO. **Ipê Agronomic Journal**, v. 4, n. 2, p. 1-10, 2020. Disponível em: <https://anais.unievangelica.edu.br/index.php/ipeagronicjournal/article/view/6363>. Acesso em: 10 mai. 2026.

PENCKOWSKI, L. H. et al. Alerta! Cresce o número de lavouras com *Amaranthus hybridus* resistente ao herbicida glifosato no Sul do Brasil. **Revista FABC**, p. 11-14, 2020. Disponível em: <https://www.upherb.com.br/ebook/REVISTA-Fabc.pdf>. Acesso em: 29 set. 2025.

PIETCZAK, Eder Luiz et al. A qualidade da água e adjuvantes na tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. In: LAJÚS, Cristiano Reschke et al. Tecnologia e gestão da inovação em sistemas de produção sustentáveis. — Campina Grande: EPTEC, 2023. 226 f.

QUEIROZ, Angélica Araujo; MARTINS, Juliana Araújo Santos; CUNHA, J. P. A. R. Adjuvantes e qualidade da água na aplicação de agrotóxicos. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 4, p. 8-19, 2008. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/download/6923/4587>. Acesso em: 20 mar. 2026.

RAIYEMO, Damilola A.; BOBADILLA, Lucas K.; TRANEL, Patrick J. Genomic profiling of dioecious *Amaranthus* species provides novel insights into species relatedness and sex genes. **BMC biology**, v. 21, n. 1, p. 37, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12915-023-01539-9>. Acesso em: 20 mai. 2026.

RESENDE, Laís S. et al. Glyphosate-resistant smooth-pigweed (*Amaranthus hybridus*) in Brazil. **Advances in Weed Science**, v. 40, p. e20210022, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aws/a/pcjg93J7mYXzPfrh4RGy45t/?format=html&lang=en>. Acesso em: 20 abr. 2026.

RIVAS-GARCIA, Tomas et al. Overview of environmental and health effects related to glyphosate usage. **Sustainability**, v. 14, n. 11, p. 6868, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/11/6868>. Acesso em: 17 abr. 2026.

SANTOS, Daiana Pereira dos et al. Determinação de espécies bioindicadoras de resíduos de herbicidas auxínicos. **Revista Ceres**, v. 60, p. 354-362, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/P4yjYPhyDjX5F7ZstrYGLbN/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 21 mar. 2026.

SANTOS, Humberto Gonçalves et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

SBCPD - SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: 1995. 42 p.

STERLING, Tracy M. Mechanisms of herbicide absorption across plant membranes and accumulation in plant cells. **Weed Science**, v. 42, n. 2, p. 263-276, 1994. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-science/article/mechanisms-of-herbicide-absorption-across-plant-membranes-and->

accumulation-in-plant-cells/90B01A368F94FF35D1F52DDA79BD6F1D. Acesso em: 29 mai. 2026.

STETTER, Markus G.; SCHMID, Karl J. Analysis of phylogenetic relationships and genome size evolution of the *Amaranthus* genus using GBS indicates the ancestors of an ancient crop. **Molecular phylogenetics and evolution**, v. 109, p. 80-92, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S105579031630464X>. Acesso em: 24 abr. 2026.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TEJADA, Jorge Luis et al. Herbicidas pós-emergentes para o controle do capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica* L.) nos estádios de pré-perfilhamento e em perfilhamento. **Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica**, v. 27, n. 1, 2024. Disponível em: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262024000100004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262024000100004&script=sci_arttext). Acesso em: 29 mar. 2026.

THELEN, Kurt D.; JACKSON, Evelyn P.; PENNER, Donald. The basis for the hard-water antagonism of glyphosate activity. **Weed Science**, v. 43, n. 4, p. 541-548, 1995. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-science/article/basis-for-the-hardwater-antagonism-of-glyphosate-activity/1B115821F1CAFEB89F926BBB1CE66810>. Acesso em: 20 mai. 2026.

THOMPSON, Helen et al. Monitoring the effects of thiamethoxam applied as a seed treatment to winter oilseed rape on the development of bumblebee (*Bombus terrestris*) colonies. **Pest Management Science**, v. 72, n. 9, p. 1737-1742, 2016. Disponível em: <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.4202>. Acesso em: 27 mai. 2026.

ZANDONÁ, Renan R. et al. Economic threshold of smooth pigweed escaped from a herbicide program in roundup ready® soybean. **Advances in Weed Science**, v. 40, p. e20210011, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aws/a/fNzCpWfwgr3w8NPwJzdzW7M/?format=html&lang=en>. Acesso em: 20 mai. 2026.

ZHOU, Rendan et al. Degradation of a new herbicide florpyrauxifen-benzyl in water: kinetics, various influencing factors and its reaction mechanisms. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 13, p. 10521, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/24/13/10521>. Acesso em: 9 jun. 2016.

## APÊNDICES

**Apêndice A** - Análise de variância (ANOVA) da fitotoxicidade (%) em cinco épocas de avaliação após a aplicação (DAA) dos herbicidas em diferentes fontes de água.

Fonte de variação	GL	TOX 7	TOX 14	TOX 21	TOX 28	TOX 35
		F (p)	F (p)	F (p)	F (p)	F (p)
Herbicida	4	22,13 ( $<0,001$ )*	31,03 ( $<0,001$ )*	27,91 ( $<0,001$ )*	28,89 ( $<0,001$ )*	27,03 ( $<0,001$ )*
Fonte de água	4	0,36 (0,840) <sup>ns</sup>	0,56 (0,694) <sup>ns</sup>	1,54 (0,200) <sup>ns</sup>	1,77 (0,144) <sup>ns</sup>	1,52 (0,204) <sup>ns</sup>
Herbicida × Fonte	16	0,83 (0,654) <sup>ns</sup>	0,85 (0,626) <sup>ns</sup>	1,27 (0,236) <sup>ns</sup>	1,38 (0,175) <sup>ns</sup>	1,15 (0,328) <sup>ns</sup>
Resíduo	75	—	—	—	—	—
CV (%)		31,3	18,8	14,8	12,7	11,4
Shapiro-Wilk (p)		0,586	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$
Levene (p)		0,001	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$

<sup>ns</sup>: não significativo ( $p>0,05$ ); <sup>\*\*\*</sup>:  $p<0,001$ . CV: coeficiente de variação. Shapiro-Wilk e Levene: p-valores dos testes de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias, respectivamente. Pressupostos violados em TOX 14, 21, 28 e 35; manteve-se a ANOVA fatorial em virtude do balanceamento do delineamento e da robustez do teste (Montgomery, 2017).

**Apêndice B** - Análise de variância (ANOVA) da massa seca (g) e da altura de plantas aos 7 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas.

Fonte de variação	GL	MS	Altura 7 DAA
		F (p)	F (p)
Herbicida	4/5	17,333 (<0,001)*	7,570 (<0,001)*
Fonte de água	4	0,612 (0,656) <sup>ns</sup>	1,120 (0,355) <sup>ns</sup>
Herbicida × Fonte	16/20	1,204 (0,285) <sup>ns</sup>	1,050 (0,422) <sup>ns</sup>
Resíduo	75/69	—	—
CV (%)		86,6	31,7
Shapiro-Wilk (p)		<0,001	0,098
Levene (p)		<0,001	0,150

<sup>ns</sup>: não significativo ( $p > 0,05$ ); \*:  $p < 0,001$ . CV: coeficiente de variação. Shapiro-Wilk e Levene: testes de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias, respectivamente.