



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO
PARANÁ CAMPUS LUIZ MENEGHEL
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA (PPAGRO)**

EMILENE APARECIDA DOS SANTOS FERREIRA

**MUDANÇA DE PH EM CALDAS A BASE DE GLYPHOSATES NO CONTROLE DE
PLANTAS DANINHAS**

**BANDEIRANTES/PR
2026**

EMILENE APARECIDA DOS SANTOS FERREIRA

**MUDANÇA DE PH EM CALDAS A BASE DE GLYPHOSATES NO CONTROLE DE
PLANTAS DANINHAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado
em Agronomia, da Universidade Estadual do
Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel.

Orientador: Prof. Dr. Diego Resende Rodrigues

BANDEIRANTES/PR
2026

Ficha catalográfica elaborada na Biblioteca do Campus "Luiz Meneghel", vinculada ao Sistema de Bibliotecas
Universitárias da Universidade Estadual do Norte do Paraná (SBU-UENP)

Catálogo-na-Publicação (CIP)

F3832m Ferreira, Emilene Aparecida dos Santos.
Mudança de pH em caldas à base de *glyphosate* no controle de plantas daninhas. – 2026.

1 arquivo digital.

Orientador: Prof. Dr. Diego Resende Rodrigues.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Agronomia, 2026.
Inclui bibliografia.

1. Glyphosate - Dissertação. 2. pH da calda - Dissertação. 3. Formulação herbicida - Dissertação. 4. *Raphanus raphanistrum* Dissertação. 5. Eficácia de herbicidas - Dissertação. I. Rodrigues, Diego Resende. II. Universidade Estadual do Norte do Paraná. Campus Luiz Meneghel. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-graduação em Agronomia. III. Título.

CDD: 628.9 (22.ed)

EMILENE APARECIDA DOS SANTOS FERREIRA

**MUDANÇA DE PH EM CALDAS A BASE DE GLYPHOSATES NO CONTROLE DE
PLANTA DANINHA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado
em Agronomia, da Universidade Estadual do
Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel.

Orientador: Prof. Dr. Diego Resende Rodrigues

Aprovada em: 25 / 05 / 2026

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Diego Resende Rodrigues	UENP
Prof. Dr. Silvio Douglas Ferreira	UENP
Dr. Marco Antonio Gandolfo	DASHEN
Dr ^a Lais Bonadio Precipito	BRANDT

Documento assinado digitalmente
gov.br DIEGO RESENDE RODRIGUES
Data: 20/06/2026 09:53:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Diego Resende Rodrigues
Orientador
Universidade Estadual do Norte do Paraná,
Campus Luiz Meneghel

BANDEIRANTES/PR
2026

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, pela força e
sabedoria em cada etapa desta jornada;

à minha família, pelo amor incondicional e
apoio constante;

e a todos que, de alguma forma, caminharam
comigo e acreditaram na realização deste
sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a minha “mãezinha” que nunca me desampararam, agradeço aos meus pais que incansavelmente me ajudaram de todas as formas nessa jornada e principalmente nesta conquista que não é só minha, mas de uma família toda.

Chegar até aqui não foi uma tarefa fácil, teve um caminho com várias fases e agradeço a todos que de alguma maneira estiveram presentes, foram cinco anos trabalhando com uma equipe impecável que sempre me incentivou e acima de tudo colaborou para a conclusão dessa etapa, o laboratório desde o início sempre foi minha segunda casa foram noites e noites até tarde rodando trabalhos ou estudando. Se hoje chego ao fim desse caminho foi porque teve pessoas ali que sempre me ajudaram, fiz e levo comigo não apenas colegas de trabalhos, mas amigos incríveis que sempre estão e estarão ao meu lado, Laura, Rosemeire, Eduarda S. Giovanna, Adenilson, Mariana, Bruno, Tanaka, Lucas, Larissa, Natânia, Luís, Maria, Rebeca, Matheus, Felipe, gêmeas, Juliana enfim todos que de alguma forma me ajudaram com as minhas “plantinhas” (que não foram poucas) obrigada por toda paciência e cuidado que tiveram. Encerro esse ciclo cheia de alegria e gratidão por ter feito parte de um laboratório onde somos família e levo comigo todos os ensinamentos.

Aos professores incríveis que tive e que me auxiliaram, professor Sgarbi, Silvio, Diego meu muito obrigada, professor Rone por toda paciência e ensinamentos ao logo desses cinco anos como meu orientador e mentor de profissão tenha minha mais sincera gratidão.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Glyphosate	14
2.2 Formulações.....	15
2.3 Potencial hidrogeniônico (pH).....	16
2.4 Plantas daninhas	16
2.4.1 <i>Raphanus raphanistrum</i> L. (nabiça)	17
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Caracterização do ambiente experimental	19
3.2 Preparo do experimento	19
3.3 Preparação das caldas	21
3.4 Análises físico-químicas.....	22
3.4.1 Análises de potencial hidrogeniônico (pH).....	22
3.4.2 Análises da tensão superficial.....	22
3.4.3 Análises de condutância elétrica.....	23
3.5 Aplicação dos herbicidas	23
3.6 Análise Estatística.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Análise de tensão superficial	27
4.2 Avaliação visual de controle para <i>Raphanus raphanistrum</i> L.	29
4.3 Avaliação de matéria seca (MS).....	36
4.3.1 <i>Raphanus raphanistrum</i>	36
5. CONCLUSÃO	37
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação geográfica da localização do ambiente experimental no campus Luiz Meneghel, Bandeirantes/PR, Brasil. Foto: Motta, A. B O. (2024).	19
Figura 2. Vaso utilizado (A) e desenvolvimento vegetativo (B). Fonte Ferreira, E.A.S (2025).	20
Figura 3. Plantas utilizadas para aplicação. Fonte: Ferreira E.A.S (2025).	20
Figura 4. Formulações comerciais utilizadas. Fonte: Ferreira E.A.S (2025).	21
Figura 5. Aparelho multiparâmetro (A) e realização de análise (B). Fonte: Ishimatsu E.S. (2024).	22
Figura 6. Ilustração metodologia de tensão superficial. Fonte: Ferreira E.A.S (2026).	23
Figura 7. Condutivímetro microprocessador portátil. Fonte: Ishimatsu E.S. (2024).	23
Figura 8. (A) Ponta AIXR11002 e (B) simulador de pulverização <i>indoor</i>	24
Figura 9. Gabarito para posicionamento das plantas gerado por i.a. Fonte: Ferreira E.A.S (2025).	24
Figura 10. Painel de comando IHM com um medidor digital de temperatura e umidade. Fonte: Ferreira E.A.S (2025).	25
Figura 11. Painel de temperatura estufa de secagem de ventilação de ar (A). Balança semi-analítica para pesagem de material (B). Fonte: Ferreira E.A.S (2025).	26
Figura 12. Análise de tensão superficial (mN m^{-1}) das caldas na concentração 360 g e.a.	27
Figura 13. Percentual de injúrias de <i>Raphanus raphanistrum</i> após aplicação do glyphosate Original Mais [®] concentração 360 g e.a. (A) e fotos de avaliação visual após aplicação (B), (1 testemunhas) (2 pH 3,0) (3 pH original) e (4 pH 9,0).	29
Figura 14. Percentual de injúrias de <i>Raphanus raphanistrum</i> após aplicação do glyphosate Crucial [®] concentração 360 g e.a. (A) e fotos de avaliação visual após aplicação (B), (1 testemunhas) (2 pH 3,0) (3 pH original) e (4 pH 9,0).	30
Figura 15. Percentual de injúrias de <i>Raphanus raphanistrum</i> após aplicação do glyphosate Roundup Transorb [®] R concentração 360 g e.a. (1 testemunhas) (2 pH 3,0) (3 pH original) e (4 pH 9,0).	31
Figura 16. Percentual de injúrias de <i>Raphanus raphanistrum</i> após aplicação do glyphosate Roundup Ultra [®] concentração 360 g e.a (1 testemunhas) (2 pH 3,0) (3 pH original) e (4 pH 9,0).	32
Figura 17. Percentual de injúrias de <i>Raphanus raphanistrum</i> após aplicação do glyphosate Roundup WG [®] concentração 360 g e.a (1 testemunhas) (2 pH 3,0) (3 pH original) e (4 pH 9,0).	33

Figura 18. Percentual de injúrias de <i>Raphanus raphanistrum</i> após aplicação do glyphosate Xequê Mate® concentração 360 g e.a. (1 testemunhas) (2 pH 3,0) (3 pH original) e (4 pH 9,0).	34
Figura 19. Percentual de injúrias de <i>Raphanus raphanistrum</i> após aplicação do glyphosate Zapp Qi 620 concentração 360 g e.a. (1 testemunhas) (2 pH 3,0) (3 pH original) e (4 pH 9,0).	35
Figura 20. Matéria seca (em gramas) de <i>Raphanus raphanistrum</i>	36

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Glyphosates utilizados, concentração e nível de pH.	21
Tabela 2. Volume de solução transformadora utilizada.....	22

FERREIRA, Emilene Aparecida dos Santos. **Mudança de pH em caldas a base de glyphosates no controle de planta daninha**. 2026. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2026.

RESUMO

O uso de herbicidas tornou-se essencial no manejo agrícola, destacando-se o glyphosate como um dos princípios ativos mais utilizados para o controle eficaz de diversas espécies de plantas daninhas. Sua ação baseia-se na interrupção da síntese de aminoácidos essenciais, impedindo o crescimento vegetal. Um fator determinante na eficácia desse herbicida é o pH da calda de pulverização. O nível de acidez ou alcalinidade pode afetar tanto a estabilidade do ingrediente ativo quanto sua absorção pelas plantas. No caso específico do glyphosate, em condições de pH ácido, as moléculas tendem a permanecer em sua forma não dissociada, o que facilita a penetração cuticular. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da alteração do pH na eficácia de diferentes formulações comerciais de glyphosate. Para tanto, foram testadas sete formulações em três níveis de pH: o original de cada produto, pH 3,0 e pH 9,0. Foram realizadas análises das propriedades físico-químicas das soluções para compreender o comportamento das formulações sob diferentes condições. As aplicações foram conduzidas sobre a espécie *Raphanus raphanistrum* (nabiça), seguidas de avaliações visuais do percentual de injúrias. A calda a base de sal de potássio + Isopropilamina (Crucial[®]) em pH 3,0 apresentou o melhor desempenho, com cerca de 95% de controle aos 28 dias após a aplicação, evidenciando que a eficácia depende da interação entre formulação, sal constituinte e pH da calda

Palavras-chave: Potencial hidrogeniônico, glifosato, *Raphanus raphanistrum*.

FERREIRA, Emilene Aparecida dos Santos. **pH changes in glyphosate-based spray solutions on the efficacy of weed control**. 2026. Dissertation (Master's in Agronomy) - State University of Northern Paraná, *Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes*, 2026.

ABSTRACT

Herbicide use has become essential in agricultural management, with glyphosate standing out as one of the most widely used active ingredients for the effective control of several weed species. Its mode of action is based on the inhibition of essential amino acid synthesis, thereby preventing plant growth. A key factor determining the efficacy of this herbicide is the pH of the spray solution. The level of acidity or alkalinity may affect both the stability of the active ingredient and its absorption by plants. Specifically, under acidic pH conditions, glyphosate molecules tend to remain in their non-dissociated form, which facilitates cuticular penetration. Therefore, the objective of this study was to evaluate the influence of pH variation on the efficacy of different commercial glyphosate formulations. For this purpose, seven formulations were tested at three pH levels: the original pH of each product, pH 3.0, and pH 9.0. Analyses of the physicochemical properties of the solutions were performed to better understand the behavior of the formulations under different conditions. Applications were carried out on *Raphanus raphanistrum* (wild radish), followed by visual assessments of control percentage. The Crucial® spray solution at pH 3.0 showed the best performance, achieving approximately 95% control at 28 days after application, demonstrating that herbicide efficacy depends on the interaction between formulation type, salt constituent, and spray solution pH.

Keywords: Hydrogen potential, glyphosate, *Raphanus raphanistrum*

1 INTRODUÇÃO

Plantas daninhas são consideradas indesejáveis por causarem prejuízos à produtividade das culturas agrícolas. Elas aumentam os custos de produção e competem com as plantas cultivadas por recursos essenciais do solo, como água e nutrientes (Pitelli, 2011). No cenário moderno da agricultura, herbicidas emergiram como ferramentas poderosas, permitindo aos agricultores combaterem pragas e plantas daninhas com eficiência e, conseqüentemente, impulsionar a produção a novos patamares (Ahuja et al., 2024).

O controle químico é uma prática eficiente para evitar interferência na cultura de interesse (Grigolli et al., 2017). A molécula do glyphosate foi sintetizada em 1964 como um potencial quelante para a indústria, porém sua utilização como herbicida ocorreu apenas em 1971. No Brasil em 2023, o glyphosate foi o herbicida mais vendido e utilizado com 253.301,95 ton. i.a. (IBAMA 2023).

O mecanismo de ação do glyphosate se dá pela interrupção da rota do ácido chiquímico, sendo o único herbicida capaz de inibir a enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintetase (EPSPs), atua na síntese dos aminoácidos aromáticos agindo em amplo aspecto de ação para o controle de plantas daninhas, quando aplicado em pós emergência (Duke et al., 2008) é solúvel em água, sistêmico e não seletivo. A absorção do herbicida ocorre por alguns modos, sendo um deles por difusão, ao fazer a aplicação deste herbicida, ocorre em primeiro momento uma penetração rápida, seguida por uma fase de lenta penetração, devido à diminuição na diferença entre os gradientes de concentração entre a superfície de contato e o interior da planta (Santos, 2007).

O potencial hidrogeniônico (pH) é uma propriedade físico-química relevante para o herbicida glyphosate pois exerce o papel importante na dissociação das moléculas que promove a acidificação de calda, dessa forma o herbicida é absorvido com maior facilidade pelas plantas quando em condições de baixo pH, devido às moléculas estarem preservadas na forma não dissociada (Sidoli, 2015). O potencial hidrogeniônico (pH) é uma escala logarítmica que foi desenvolvida para a mensuração de ácidos e bases. Na escala de 0 a 14, substâncias que estão abaixo de 7 são classificadas como ácidas, já as acima de 7 se enquadram como básicas (Magri, 2015).

Um dos fatores como o pH têm uma predisposição a influenciar na estabilidade dos ingredientes ativos do glyphosate, onde os compostos químicos sofrem degradação por

hidrólise e sua velocidade de absorção pela planta será interferida pelo pH podendo ser de maneira mais rápida ou lenta com a dissociação das moléculas por meio do nível de pH se reduz com a acidificação de calda, dessa maneira o herbicida é absorvido com maior facilidade pelas plantas (Cunha et al., 2020). Como hipótese ad hoc, propõe-se que a alteração extrema do pH da solução de pulverização, por meio da adição isolada de ácido ou soda à água, possa provocar efeitos fisiológicos capazes de comprometer o desenvolvimento das plantas daninhas, independentemente da presença de herbicidas. Entretanto, essa hipótese não foi diretamente testada no presente estudo e requer investigação experimental específica. O Objetivo deste trabalho foi avaliar a alteração do pH de diferentes formulações de glyphosate no controle de planta daninha.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Glyphosate

O glyphosate, um herbicida não seletivo amplamente utilizado no controle de plantas daninhas (Aoun et al., 2025), sua fórmula molecular é $C_3H_8NO_5P$ (m.m. = 169,1 g mol⁻¹), e sua forma de sal de isopropilamônio, contém um acréscimo o do grupo $(CH_3)_2CHNH_3^+$ (m.m. = 228,2 g mol⁻¹)³. O glyphosate, conhecido como *N*- (fosfometil)-glicina, é um potente herbicida sistêmico não seletivo derivado do ácido fosfônico e da glicina. Descoberto inicialmente em 1950, foi amplamente comercializado sob a marca RoundUp pela Monsanto (Singh et al., 2020).

A absorção deste tipo de herbicida inicialmente pode se iniciar por difusão ocorre uma penetração rápida, em seguida uma fase lenta de penetração limitada pela diferença entre os gradientes de concentração entre a superfície de contato e o interior da planta (Santos, 2014). Possui amplo espectro de ação, controlando plantas daninhas anuais ou perenes, dicotiledôneas e monocotiledôneas (Melo et al., 2019).

Há inúmeras formulações de glyphosates as quais se diferem pela sua composição e o sal utilizado (sal de amônio, sal isopropilamina e sal de potássio) (Santos et al., 2007) e por meio das concentrações de ingrediente ativo (Baur; Aponte, 2014). O glyphosate é o único herbicida que consegue bloquear a rota enzimática do chiquimato. Pois após sua absorção o herbicida atua na planta na inibição da enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintetase (EPSPs), que produz EPSP de chiquimato-3-fosfato e fosfoenolpiruvato (PEP) consequentemente na formação e acúmulo de ácido chiquímico (Duke, 2018).

Ao inibir o EPSPs se impede a biossíntese de aminoácidos aromáticos triptofano, tirosina e fenilalanina em plantas sensíveis, que são necessários para a síntese de proteínas (Gomes et al., 2015). O glyphosate tem sua absorção pela parte aérea das plantas, tendo sua absorção indicada de no mínimo 6 horas após a aplicação, sua translocação via simplasto com fotoassimilados das folhas para o tecido meristemático até alcançar o local-alvo (Cruz-Hipolito et al., 2011). Em virtude das características decorrente da aplicação do glyphosate (eficiência com um custo baixo), o herbicida ganhou papel importante na agricultura (Duke, 2018).

Os sintomas do glyphosate são perceptíveis mais nitidamente nas plantas a partir do sétimo dia após aplicação, inicia-se com amarelecimento das folhas, seguido por murcha e após

necrose (Kruse; Trezzi; Vidal, 2000) e morte das plantas ocorre entre 21 e 28 dias após aplicação (Ferreira et al., 2017).

2.2 Formulações

As diferentes formulações de glyphosates podem alterar a absorção e translocação de alguns herbicidas, desse modo causará influência do controle (Silva et al., 2020). O glyphosate é o ingrediente ativo com maior volume de comercialização mundial, considerando todas as classes de agrotóxicos (Tauhata et al., 2020). Esse ingrediente ativo existe em várias formas como ácido de glyphosate ou sal de glyphosate, cerca de 2.000 formulações diferentes (Klátyik et al., 2023).

Encontrava-se registrados no mercado brasileiro em 2022, 119 formulações de glyphosate (AGROFIT 2026). Dentre as principais formulações comerciais de glyphosate utilizadas no Brasil, destacam-se aquelas que são compostas por sais de isopropilamina, amônio e potássio (Carbonari et al., 2022).

As especificidades presentes em cada formulação de glyphosate estão associadas a quantidade de glyphosate, ao sal e inertes utilizados na formulação do produto comercial para melhorarem sua performance, estas alterações podem afetar na velocidade de absorção, translocação e de ação do herbicida (Schermer et al., 2014).

As peculiaridades atribuídas a cada formulação abrangem maior velocidade de translocação e de ação (Travlos et al., 2017) e melhor controle de algumas espécies, os adjuvantes que estão presentes nas formulações de glyphosate também podem atuar no aumento da permeabilidade da cutícula e conseqüentemente da membrana celular, melhorando assim a deposição e retenção do herbicida nas folhas (Schermer et al., 2014).

A molécula de glyphosate é composta por um grupo ácido carboxílico associado a um grupo amina e a um grupo fosfônico. Um dos hidrogênios com capacidade de ionização pode ser substituído por diferentes cátions, originando distintos sais comerciais e, conseqüentemente, diferentes formulações com variações na concentração de equivalente ácido (Piasecki et al., 2024).

Pesquisa com herbicidas à base de glyphosate em grama-boiadeira (*Luziola peruviana*), destacou diferença no nível de controle da espécie entre as diferentes formulações do produto, aos 28 dias após a aplicação, as formulações à base do sal de isopropilamina apresentaram maior eficiência, necessitando de 393 g e.a. ha⁻¹ para atingir o C₅₀ (dose necessária para

proporcionar 50% de controle da espécie). Por outro lado, as formulações à base de sal potássico demandaram uma dose superior, de 937 g e.a. ha⁻¹, para alcançar o mesmo nível de controle (Schermer et al., 2014).

2.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

Um dos fatores importantes para aplicação de herbicidas é o pH da calda. Alguns herbicidas possuem pK_A, o potencial de dissociação de um herbicida ácido ou básico em relação ao pH do meio (Schwarzenbach, 1993). A ionização de herbicidas é mensurada pelo pK_a representado pelo pH e pK_b, que se representa pOH, em que metade das moléculas do herbicida encontram-se dissociadas. Deste modo, quanto menor a força de um ácido consequentemente maior será a acidez do herbicida, já quando a dissociação de base for menor, maior será a alcalinidade do herbicida (Carvalho et al., 2009).

Ácidos, em solução aquosa, liberam íons de hidrogênio (H⁺), sendo conhecidos como doadores de prótons. Já as bases, ao reagirem com ácidos, recebem o íon H⁺ e geram íons hidróxidos (OH⁻), classificando-se como substâncias receptoras de prótons (Brown, 2016). O potencial hidrogeniônico (pH) é uma escala logarítmica que foi desenvolvida para a mensuração de ácidos e bases. Na escala de 0 a 14, substâncias que estão abaixo de 7 são classificadas como ácidas, já as acima de 7 se enquadram como básicas (Magri, 2015).

Os valores de pH têm uma predisposição a influenciarem na estabilidade dos ingredientes ativos, onde os compostos químicos sofrem degradação por hidrólise e sua velocidade será interferida pelo pH, (Esquivel; Valle, 2015). A dissociação das moléculas se reduz com a acidificação de calda, dessa maneira o herbicida é absorvido com maior facilidade pelas plantas quando se encontra o pH em baixas condições, devido às moléculas estarem preservadas na forma não-dissociada (Sidoli, 2015).

2.4 Plantas daninhas

Plantas daninhas são consideradas indesejadas por causarem problemas diretamente na produtividade da cultura de interesse, interferem diretamente no custo da produção, competição por água e nutrientes presentes no solo (Pitelli, 2015). Além das competições diretas tem a competição por espaço no qual acarreta sombreamento na cultura de interesse, já que as plantas daninhas têm um arranque do seu crescimento inicial acelerado em comparação com outras culturas (Iqbal et al., 2017). Essa competição prejudica o desenvolvimento da lavoura e pode

reduzir a produtividade entre 20% e 50%, dependendo do nível de infestação e do tempo em que essas plantas permanecem no campo (Kaur et al., 2019).

Outras características das plantas daninhas são florescimento precoce, elevadas adaptações para disseminação de suas sementes em curta e longa distância, diversos mecanismos de dormência, elevada longevidade, desuniformidade no processo germinativo e capacidade de germinação em vários ambientes, desuniformidade nos processos de florescimento e produção de estruturas reprodutivas distintas (Araújo et al., 2018).

Alguns fatores como o fisiológico climático e o biológico podem determinar a ocorrência e permanência das plantas daninhas em período e tempo. Fatores fisiológicos estão relacionados a topografia do solo, sendo um fator edáfico tendo maior impacto na persistência das plantas daninhas (Fried et al., 2019). Esse fato se confirmou em um experimento no campo de algodão da Grécia, onde foi observado a relação espacial entre plantas daninhas e os atributos do solo (Kalivas et al., 2012).

Em estudo de interferência das plantas daninhas na cultura da soja sob sistemas de semeadura direta com a cultivar CD 201 e semeadura convencional com a M-SOY6101, verificaram que a interferência das plantas daninhas durante todo o ciclo da cultura reduziu, em média, 46% no sistema de semeadura direta e 32% em sistema de semeadura convencional a produtividade de grãos da soja (Nepomuceno et al., 2007).

2.4.1 *Raphanus raphanistrum* L. (nabiça)

A espécie *Raphanus raphanistrum* (nabiça) representa um problema importante para a agricultura da Austrália Ocidental, causando perdas econômicas estimadas em cerca de 40 milhões de dólares por ano. Esse impacto está relacionado, principalmente, à capacidade dessa planta daninha de desenvolver resistência a herbicidas com diferentes mecanismos de ação, característica que vem sendo observada e documentada ao longo do tempo por diversos estudos (Busi et al., 2024).

A nabiça é considerada uma planta anual e de inverno, com suas hastes principais podendo chegar de 30 a 90 cm de altura, apresenta ramificações e suas folhas com pecioladas curtas e ovaladas-oblonga de 5 a 20 cm de comprimento, suas inflorescências são ramificadas de 12 a 198 mm de diâmetro com sépalas fechadas, pétalas amarelas ou branco com roxo, seu fruto é do tipo síliqua podendo medir de 2 a 7,5 cm de comprimento (Fruet et al., 2021; Warwick; Francis, 2005).

Esta espécie tem sua lâmina foliar com espessura média de 217,28 μm (micrómetro), tendo suas epidermes simples, com a parte adaxial mais espessa que a abaxial, *R. raphanistrum* apresenta grande espessura da cutícula da face adaxial, o que é considerada uma barreira à absorção de herbicidas, principalmente os lipofílicos (Fruet, 2021; Ferreira et al., 2022). Outra característica que confere resistência a essa espécie é sua taxa de exsudação de herbicidas como os MCPA pelas raízes de biótipos resistentes e (Fruet, 2021; Jugulam et al., 2013).

Com a hibridação frequente entre espécies do gênero *Raphanus* (*sativus* e *raphanistrum*), verificou que populações híbridas produziram pelo menos três vezes mais sementes que as populações selvagens, dessa forma acarretando maior número de plantas precoce em sua emergência e maior taxa de sobrevivência (Fruet 2021; Hovick et al., 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do ambiente experimental

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Núcleo de Investigação em Tecnologia de Aplicação e Máquinas Agrícolas – NITEC (Figura 1), localizado na Universidade Estadual do Norte do Paraná UENP, *campus* Luiz Meneghel, na cidade de Bandeirantes, Paraná.

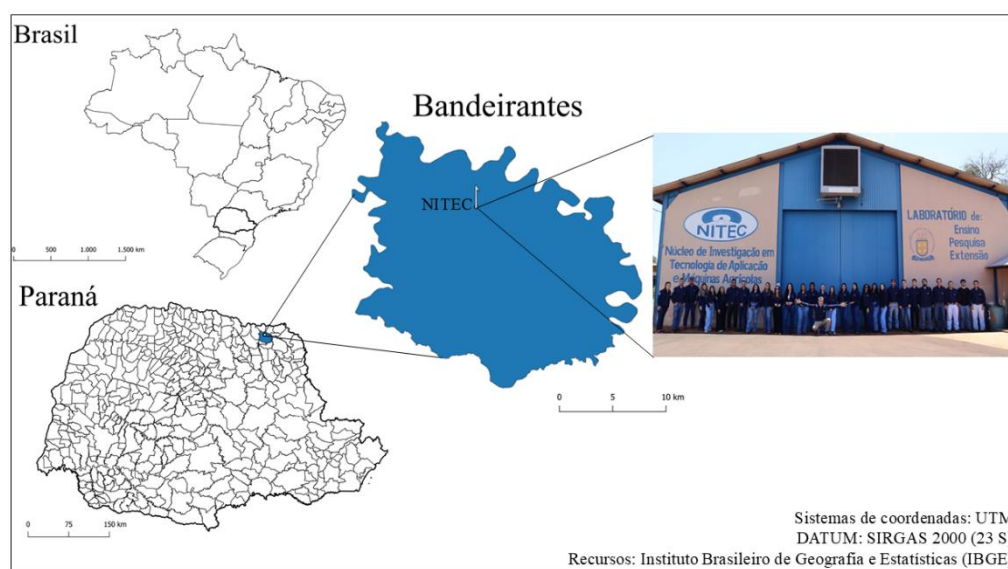


Figura 1: Representação geográfica da localização do ambiente experimental no campus Luiz Meneghel, Bandeirantes/PR, Brasil. Foto: Motta, A. B O. (2024).

3.2 Preparo do experimento

Para a produção das plantas daninhas utilizou sementes comerciais, onde foram semeadas diretamente em vasos com capacidade de 1 L (Figura 2).

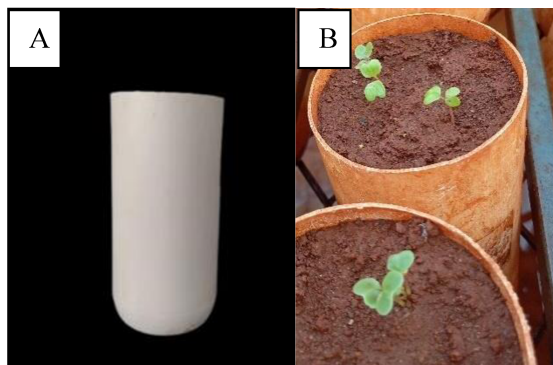


Figura 2. Vaso utilizado (A) e desenvolvimento vegetativo (B). Fonte Ferreira, E.A.S (2025).

Os vasos foram preenchidos com substrato na proporção de 3:1 de argila e areia posteriormente adubados com uma formulação de NPK 10:10:10 para garantir bom desenvolvimento da nabiça no momento da aplicação as plantas se encontrassem em estádios fenológicos entre V6 e V7 (Figura 3).



Figura 3. Plantas utilizadas para aplicação. Fonte: Ferreira E.A.S (2025).

As formulações de glyphosates utilizadas posteriormente para aplicação contaram com três sais, sal de amônio com os produtos comerciais Roundup Ultra[®], Roundup Original[®] Mais e Roundup WG[®], sal de potássio tendo os produtos comerciais Xequê Mate[®], Zapp Qi 620 e Roundup Transorb[®] R e sal de isopropilamina + sal de potássio tendo seu produto comercial o Crucial[®]. Para a aplicação as caldas foram formuladas em garrafas PETs com capacidade de 2 L, conforme a Tabela 1 e Figura 4.

Tabela 1. Glyphosates utilizados, concentração e nível de pH.

Tratamentos	Glyphosates	g l.a	Nível de pH
1	Roundup Transorb® R	360	3,0(ácido)
2	Roundup Transorb® R	360	Original
3	Roundup Transorb® R	360	9,0(básico)
4	Roundup WG®	360	3,0(ácido)
5	Roundup WG®	360	Original
6	Roundup WG®	360	9,0(básico)
7	Roundup Ultra®	360	3,0(ácido)
8	Roundup Ultra®	360	Original
9	Roundup Ultra®	360	9,0(básico)
10	Xeque Mate®	360	3,0(ácido)
11	Xeque Mate®	360	Original
12	Xeque Mate®	360	9,0(básico)
13	Roundup Original® Mais	360	3,0(ácido)
14	Roundup Original® Mais	360	Original
15	Roundup Original® Mais	360	9,0(básico)
16	Zapp Qi 620	360	3,0(ácido)
17	Zapp Qi 620	360	Original
18	Zapp Qi 620	360	9,0(básico)
19	Crucial®	360	3,0(ácido)
20	Crucial®	360	Original
21	Crucial®	360	9,0(básico)

Fonte: Ferreira E.A.S (2026)



Figura 4. Formulações comerciais utilizadas. Fonte: Ferreira E.A.S (2025).

3.3 Preparação das caldas

As caldas foram formuladas para uma taxa de aplicação de 100 L ha⁻¹, e foram submetidas a mudança de pH conforme estabelecido, para as alterações utilizou-se ácido sulfúrico para chegar a nível 3,0 e para o aumento a nível 9,0 utilizou-se um concentrado de soda cáustica de 400 g de soda cáustica para 500 ml de água, para pH original os produtos foram diluídos apenas em água, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Volume de solução transformadora utilizada.

Tratamentos	Glyphosates	Nível de pH	Solução (mL)
1	Roundup Transorb® R	3,0(ácido)	2,00
2	Roundup Transorb® R	Original	-
3	Roundup Transorb® R	9,0(básico)	10,00
4	Roundup WG®	3,0(ácido)	1,00
5	Roundup WG®	Original	-
6	Roundup WG®	9,0(básico)	9,00
7	Roundup Ultra®	3,0(ácido)	1,00
8	Roundup Ultra®	Original	-
9	Roundup Ultra®	9,0(básico)	7,00
10	Xeque Mate®	3,0(ácido)	2,00
11	Xeque Mate®	Original	-
12	Xeque Mate®	9,0(básico)	8,000
13	Roundup Original® Mais	3,0(ácido)	2,50
14	Roundup Original® Mais	Original	-
15	Roundup Original® Mais	9,0(básico)	10,00
16	Zapp Qi 620	3,0(ácido)	2,00
17	Zapp Qi 620	Original	-
18	Zapp Qi 620	9,0(básico)	11,00
19	Crucial®	3,0(ácido)	2,00
20	Crucial®	Original	-
21	Crucial®	9,0(básico)	8,00

Fonte: Ferreira E.A.S (2026)

Foi utilizado para adição das soluções de mudança de pH uma pipeta graduada de 25 mL, onde as soluções foram adicionadas gradativamente até se obter o valor de pH desejado, foram feitas análises de potencial hidrogeniônico (pH), tensão superficial e condutância elétrica.

3.4 Análises físico-químicas

3.4.1 Análises de potencial hidrogeniônico (pH)

A aferição do pH foi constante durante a mudança de pH com um auxílio aparelho multiparâmetro modelo HANNA HI3399 (0,01 pH ($\pm 0,2$ mV) a 25 °C) (Figura 5).

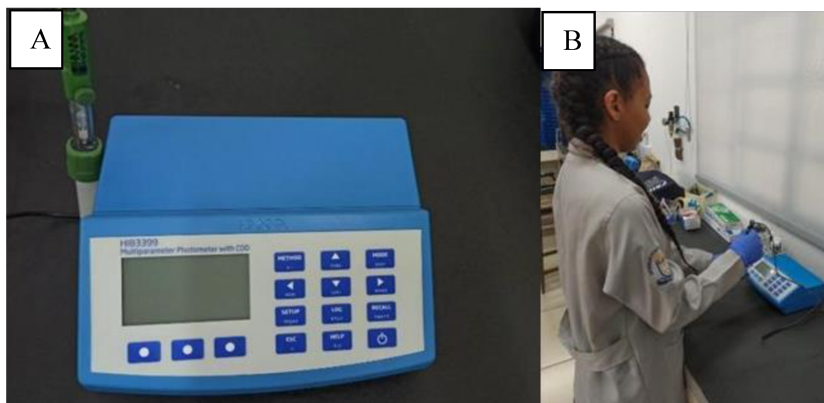


Figura 5. Aparelho multiparâmetro (A) e realização de análise (B). Fonte: Ishimatsu E.S. (2024).

3.4.2 Análises da tensão superficial

A determinação da tensão superficial foi realizada pelo método gravimétrico, por meio da pesagem de 50 gotas em cada repetição. O procedimento utilizou uma bomba de infusão (Samtronic ST7000) ajustada para um fluxo de 6 mL h^{-1} , garantindo volume constante na formação das gotas. Uma seringa de 10 mL, contendo as amostras dos diferentes tratamentos, foi acoplada à bomba de infusão e conectada a um extensor posicionado verticalmente sobre uma balança de precisão ($0,0001 \text{ g}$), sob temperatura controlada de $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 6).

Os valores de peso das gotas foram posteriormente convertidos em tensão superficial, adotando-se como referência a média da tensão superficial da água, igual a $72,6 \text{ mN m}^{-1}$, conforme metodologia descrita por Oliveira, (2012).

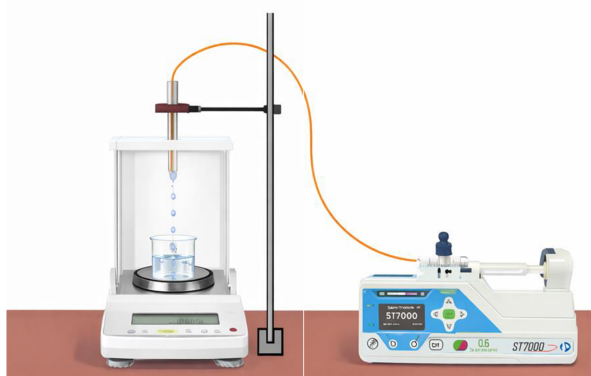


Figura 6. Ilustração metodologia de tensão superficial. Fonte: Ferreira E.A.S (2026).

3.4.3 Análises de condutância elétrica

A condutância elétrica e a temperatura da calda foram determinadas utilizando um condutivímetro microprocessado portátil modelo R-TEC-4P_MP (Figura 5). O equipamento realiza leituras de condutância em água ($S\ cm^{-1}$), álcool ($S\ m^{-1}$) e de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), possuindo ainda um fator programável para ajuste das medições (Figura 7).



Figura 7. Condutivímetro microprocessador portátil. Fonte: Ishimatsu E.S. (2024).

3.5 Aplicação dos herbicidas

A aplicação foi realizada por meio de um pulverizador manual pressurizado por CO_2 com quatro pontas de pulverização AIXR11002 jato plano e filtro malha 50 Mesh, com vazão $0,66\ L\ min^{-1}$ a uma pressão de 250 kPa, adaptado a um simulador de pulverização *indoor* de alta velocidade, com velocidade de deslocamento de $2,2\ m\ s^{-1}$ definida por um sistema IHM (interação homem-máquina) (Figura 8).

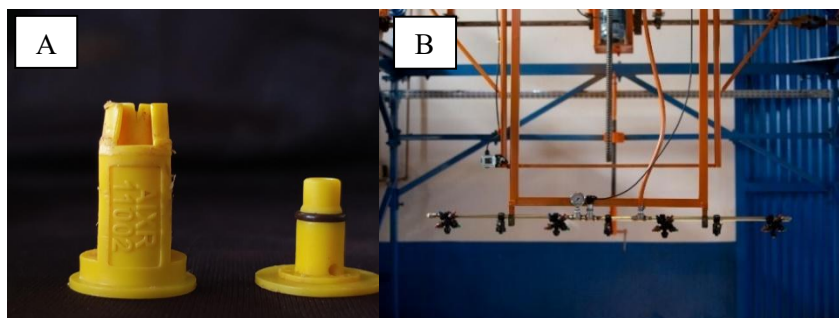


Figura 8. (A) Ponta AIXR11002 e (B) simulador de pulverização *indoor*.
Fonte: Ferreira E.A.S. (2025).

Foi demarcado um quadro padrão no piso (gabarito) para colocação das plantas de forma referenciada em todas as repetições, para todos os tratamentos. A Figura 9, retrata o esquema de gabarito e posicionamento das plantas.

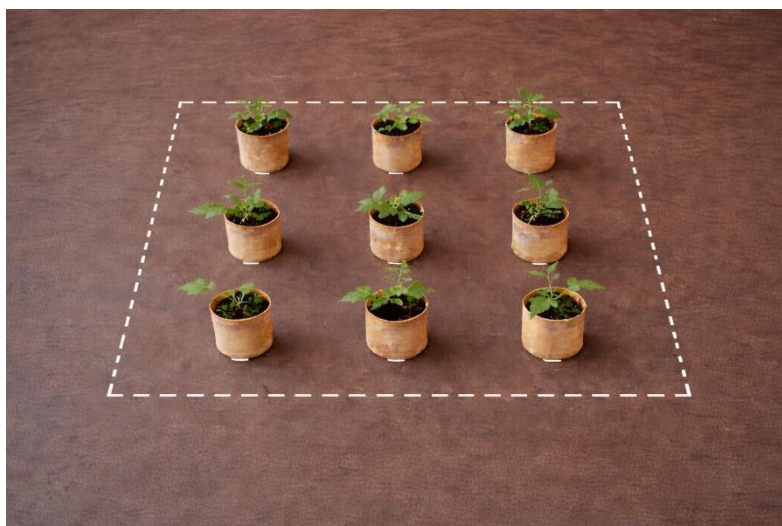


Figura 9. Gabarito para posicionamento das plantas gerado por I.A.. Fonte: Ferreira E.A.S (2025).

Durante a aplicação a temperatura e umidade do ambiente foi monitorada constantemente em cada aplicação por meio de um medidor de temperatura e umidade sem fio, que foi fixado ao painel de comando para facilitar as anotações com variação de temperatura média de $25,2\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ e umidade $49,5\% \pm 5\%$ (Figura 10).



Figura 10. Painel de comando IHM com um medidor digital de temperatura e umidade. Fonte: Ferreira E.A.S (2025).

Após a aplicação as plantas foram acondicionadas na casa de vegetação separadas por seus respectivos tratamentos e espécie, para posteriormente serem realizadas as avaliações de controle aos três dias, sete dias, quatorze dias, vinte e um dia e vinte e oito dias após aplicação

As notas de controle foram atribuídas com base na escala percentual de injúrias proposta pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas – SBCPD (1995), em que 0% representa ausência total de injúrias e 100% correspondem ao controle total das plantas. Ao término das avaliações visuais, foi determinada a massa fresca e seca da parte aérea das plantas. Para isso, a parte aérea foi coletada pesada em uma balança de precisão semi-analítica e colocada para secagem em estufa a 65 °C, por um período de 72 horas e pesadas novamente (Figura 11A e 11B).

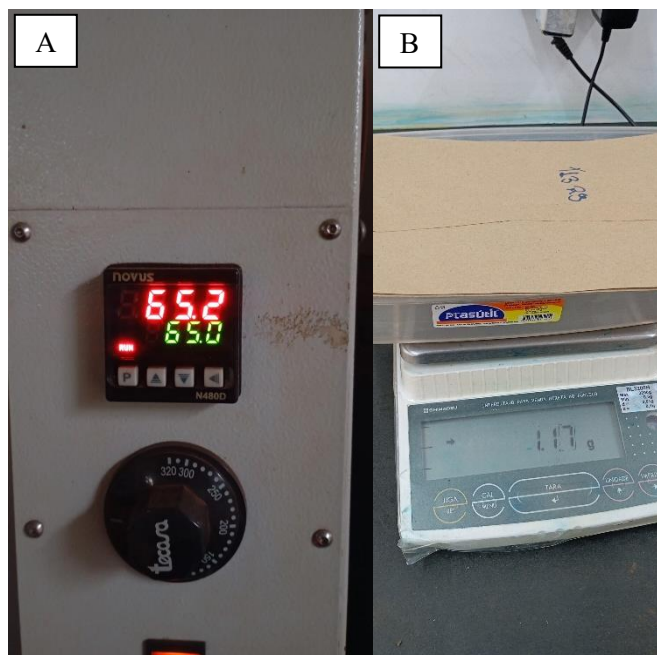


Figura 11. Painel de temperatura estufa de secagem de ventilação de ar (A). Balança semi-analítica para pesagem de material (B). Fonte: Ferreira E.A.S (2025).

3.6 Análise Estatística

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com vinte e um tratamentos e nove repetições e uma espécie de planta daninha (*Raphanus raphanistrum* L.). A análise dos dados consistiu em avaliar o efeito de formulações e níveis de pH. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), para a verificação de diferença entre os tratamentos. Após a constatação da diferença, foram submetidos a análise de regressão linear. As análises foram realizadas utilizando o software R (R Development Core Team, 2024).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de tensão superficial

A tensão superficial das caldas está relacionada às forças de interação e coesão entre as moléculas da solução, resultando na formação de uma película elástica na interface líquido-ar. A água, principal solvente utilizado na pulverização agrícola, apresentou elevada tensão superficial com aproximadamente $72,6 \text{ mN m}^{-1}$ (Hazra et al., 2017) (Figura 12), dessa forma, a tensão superficial influencia diretamente a interação entre a calda e o alvo biológico.

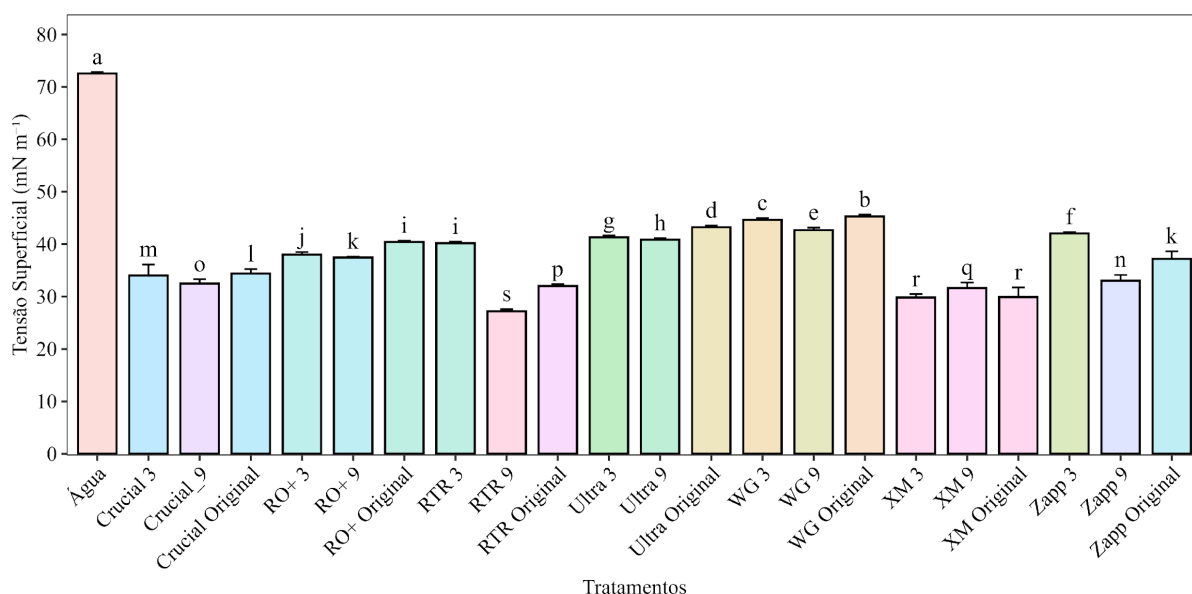


Figura 12. Análise de tensão superficial (mN m^{-1}) das caldas na concentração 360 g e.a.

Dentre as caldas formuladas, os menores valores de tensão superficial encontrados foram para Roundup Transorb[®] R pH 9,0 e Xequê Mate[®] pH original e 3,0. Ambos os produtos são formulados à base de sal de potássio. Esse tipo de sal apresenta elevada solubilidade em água, característica que pode favorecer a disponibilidade do ingrediente ativo na solução e sua absorção pelas plantas em determinadas condições ambientais.

Quando se relaciona esses resultados com os percentuais de controle, observa-se que, o Roundup Transorb[®] R em pH 9,0 apresentou o menor valor de tensão superficial ($\pm 28 \text{ mN m}^{-1}$), bem como o menor desempenho no controle de *Raphanus raphanistrum* ($\approx 65\%$). Esse resultado indica que a redução da tensão superficial isoladamente não garante maior eficiência herbicida. Porém a tensão superficial influencia diretamente o espalhamento das gotas sobre a superfície foliar, aumentando a área de contato entre a calda e o tecido vegetal; entretanto,

outros fatores físico-químicos da solução como também desempenham papel importante na absorção do herbicida (Cunha et al., 2020).

Nesse contexto, o pH da calda de pulverização pode exercer influência significativa no comportamento do glyphosate. O herbicida possui caráter de ácido fraco e apresenta diferentes estados de dissociação dependendo do pH da solução, o que pode alterar sua disponibilidade e interação com a superfície foliar. Alterações no pH podem modificar a forma iônica da molécula e, conseqüentemente, influenciar processos de absorção e mobilidade dentro da planta (Li et al., 2021). Assim, mesmo com menor tensão superficial, a condição alcalina observada no tratamento pH 9,0 pode ter influenciado a dinâmica de absorção do herbicida, contribuindo para o menor nível de controle observado.

Os maiores valores de tensão superficial foram observados nas caldas formuladas com Roundup WG[®], com valores entre 42,66 e 45,30 mN m⁻¹. Em geral, valores mais elevados de tensão superficial reduzem o espalhamento das gotas sobre a superfície foliar, podendo limitar o contato inicial do herbicida com o tecido vegetal. Essa característica pode explicar a resposta inicial mais lenta observada nos primeiros dias após a aplicação, uma vez que a menor área de contato pode retardar o processo de absorção inicial do produto.

Entretanto, ao final do período de avaliação, o desempenho da formulação WG apresentou controle superior a 75%, indicando que outros fatores relacionados à formulação podem ter contribuído para o aumento da eficácia ao longo do tempo.

Formulações do tipo WG (grânulos dispersíveis em água) apresentam dinâmica específica de dissolução e dispersão na calda de pulverização, podendo influenciar a disponibilidade do ingrediente ativo e a interação com a superfície foliar. Além disso, a presença de adjuvantes e surfactantes nas formulações comerciais pode modificar propriedades como retenção de gotas, ângulo de contato e absorção foliar, aumentando a eficiência do herbicida mesmo quando a tensão superficial inicial é mais elevada (Palma-Bautista et al., 2020).

Esses resultados indicam que o desempenho do glyphosate não depende de apenas uma característica físico-química da calda, mas sim da interação entre diferentes fatores, como pH, tensão superficial, tipo de sal e formulação comercial.

Os relatos na literatura destacam que alterações nas propriedades da solução de pulverização podem modificar significativamente os processos de deposição, retenção, absorção e translocação do herbicida nas plantas daninhas. Dessa forma, a análise conjunta

desses fatores é fundamental para compreender o comportamento do glyphosate em condições de campo e explicar as diferenças observadas no controle de *Raphanus raphanistrum*.

4.2 Avaliação visual de controle para *Raphanus raphanistrum* L.

o pH da calda influenciou significativamente a dinâmica de controle da nabiça ao longo do período de avaliação (Figura 13). Aos 3 dias após a aplicação (DAA), os níveis de controle foram baixos para todos os tratamentos, com valor ligeiramente superior no pH 3,0, seguido pelo pH 9,0 e pelo pH original, indicando resposta inicial limitada do herbicida.

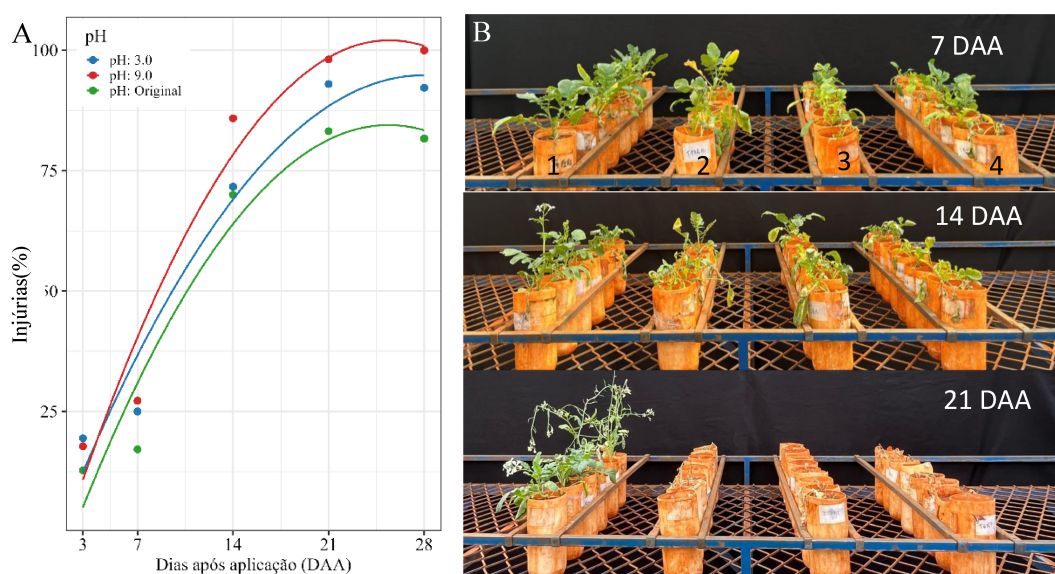


Figura 13. Percentual de injúrias de *Raphanus raphanistrum* após aplicação do glyphosate Original Mais® concentração 360 g e.a. (A) e fotos de avaliação visual após aplicação (B), (1 testemunhas) (2 pH 3,0) (3 pH original) e (4 pH 9,0).

Aos 7 DAA, verificou-se incremento no controle em todos os tratamentos, com maior desempenho no pH 9,0, seguido pelo pH 3,0, enquanto o pH original apresentou o menor valor. Aos 14 DAA, o pH 9,0 manteve superioridade, atingindo níveis mais elevados de controle em comparação aos demais tratamentos, enquanto pH 3,0 e pH original apresentaram valores intermediários.

Aos 21 DAA, o pH 9,0 apresentou os maiores níveis que se estendeu até os 28 DAA aproximando-se do controle máximo, seguido pelo pH 3,0, enquanto o pH original permaneceu com valores inferiores. Assim, diferentemente do observado em outros gráficos, neste caso o pH influenciou não apenas a velocidade de resposta, mas também a eficácia final do herbicida.

Embora o glyphosate seja um ácido fraco, a interação entre pH, tipo de sal e características da superfície foliar pode alterar sua disponibilidade e translocação. Em determinadas condições, o pH mais elevado pode favorecer a estabilidade da formulação ou reduzir interações negativas com componentes da água, como cátions divalentes, resultando em maior eficiência biológica (McMullan, 2000; Thelen et al., 1995).

Observa-se na Figura 14 aumento progressivo das notas de controle de *nabiça* ao longo do tempo para todos os tratamentos de pH. Aos 3 DAA, os valores são baixos e semelhantes entre pH 3, pH 9 e pH original, indicando ausência de efeito inicial expressivo do pH na fase precoce. Aos 7 DAA, o pH original apresenta controle levemente superior, seguido por pH 9 e pH 3.

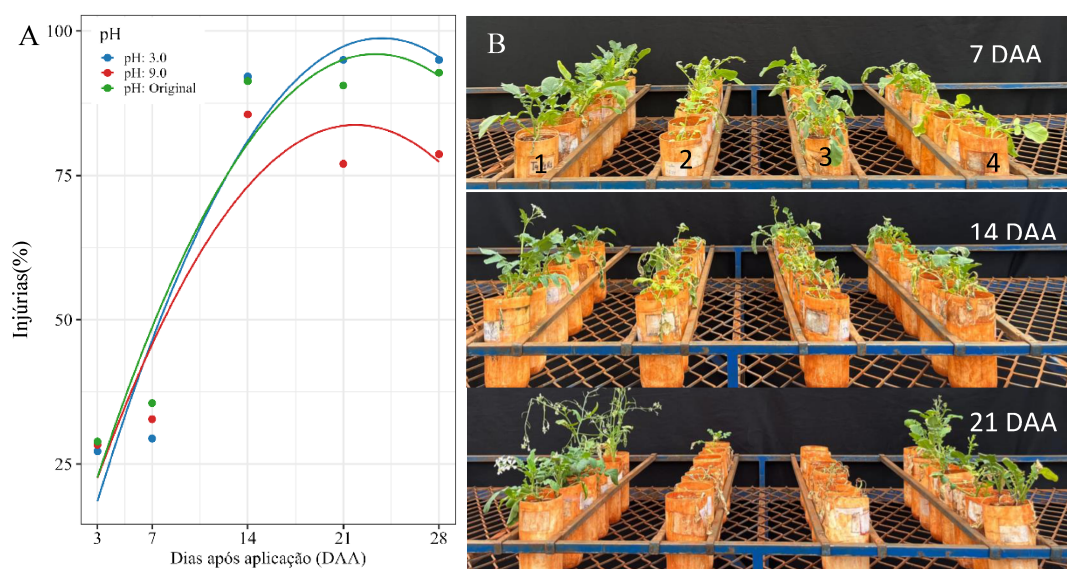


Figura 14. Percentual de injúrias de *Raphanus raphanistrum* após aplicação do glyphosate Crucial® concentração 360 g e.a. (A) e fotos de avaliação visual após aplicação (B), (1 testemunhas) (2 pH 3,0) (3 pH original) e (4 pH 9,0).

Aos 14 DAA, o tratamento acidificado (pH 3) atinge valores mais elevados de controle, superando o pH original e o pH 9. Aos 21 DAA, o pH 3 mantém os maiores níveis de controle, próximo ao máximo observado, enquanto o pH original apresenta desempenho intermediário e o pH 9 mostra redução relativa das notas que manteve comportamento semelhante aos 28 DAA.

O melhor desempenho do pH ácido ao longo do tempo pode estar associado à maior proporção de glyphosate na forma não dissociada, favorecendo a penetração cuticular e a

absorção foliar. Segundo (Shaner, 2014), o glyphosate apresenta comportamento ácido fraco, sendo mais eficientemente absorvido em soluções com pH mais baixo.

A redução do controle em pH elevado aos 21 DAA sugere possível complexação do glyphosate com cátions presentes na água ou menor estabilidade da formulação, o que já foi descrito por (Nalewaja; Matysiak, 1993), que demonstraram perda de eficiência do glyphosate em águas alcalinas e duras.

A calda de Roundup Transorb[®] R apresenta comportamento distinto entre os tratamentos de pH. Aos 3 DAA, as notas de controle são baixas, porém ligeiramente superiores em pH 3 (Figura 15). Aos 7 DAA, observa-se aumento mais acentuado do controle em pH 3, enquanto pH 9 e pH original apresentam valores inferiores.

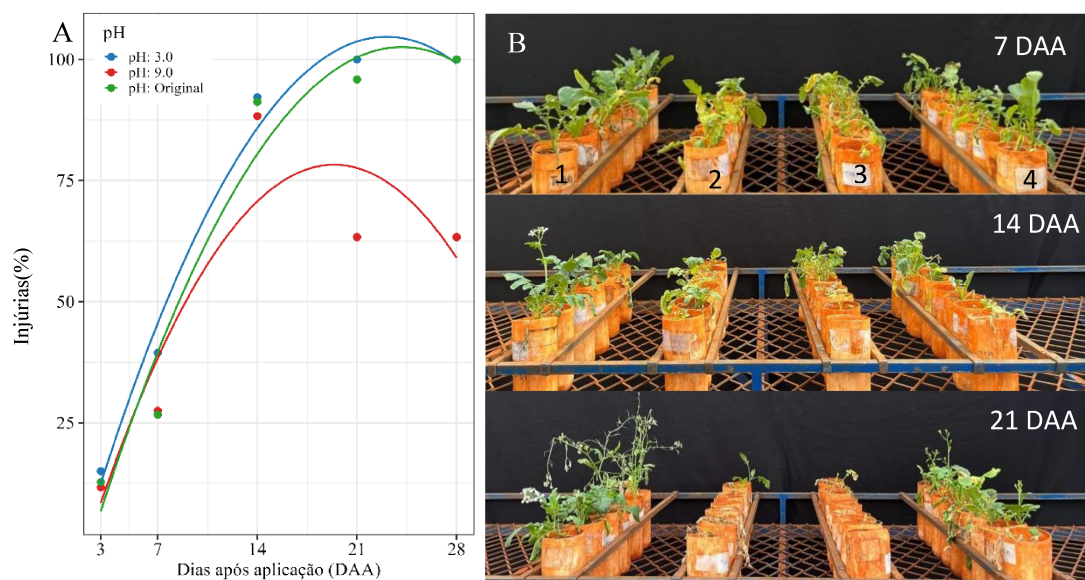


Figura 15. Percentual de injúrias de *Raphanus raphanistrum* após aplicação do glyphosate Roundup Transorb[®] R concentração 360 g e.a. (1 testemunhas) (2 pH 3,0) (3 pH original) e (4 pH 9,0).

Aos 14 DAA, o pH 3 resulta nos maiores níveis de controle, seguido do pH original. Aos 21 DAA, o pH 3 mantém controle elevado, próximo a 100%, enquanto o pH original permanece alto, e o pH 9 apresenta queda significativa no controle. O desempenho superior do pH 3 indica maior eficiência da formulação Roundup Transorb[®] R sob condições ácidas.

Estudos indicam que algumas formulações comerciais apresentam maior sensibilidade ao pH da calda devido à composição de surfactantes e sais utilizados na formulação Ruiter; Meinen, (1998) demonstraram que a absorção foliar de herbicidas sistêmicos é fortemente influenciada pela interação entre pH e adjuvantes presentes na calda.

A queda do controle em pH 9 sugere limitação na absorção e possível antagonismo químico, corroborando os resultados de Thelen et al. (1995), que observaram redução do desempenho do glyphosate em condições alcalinas, mesmo em formulações comerciais modernas.

Na calda de Roundup Ultra[®], observa-se na Figura 16 comportamentos diferenciado em relação às demais. Aos 3 e 7 DAA, as diferenças entre os tratamentos de pH são pequenas, com leve superioridade do pH 3. Aos 14 DAA, os três tratamentos apresentam altos níveis de controle, com destaque para pH 9, que supera ligeiramente os demais.

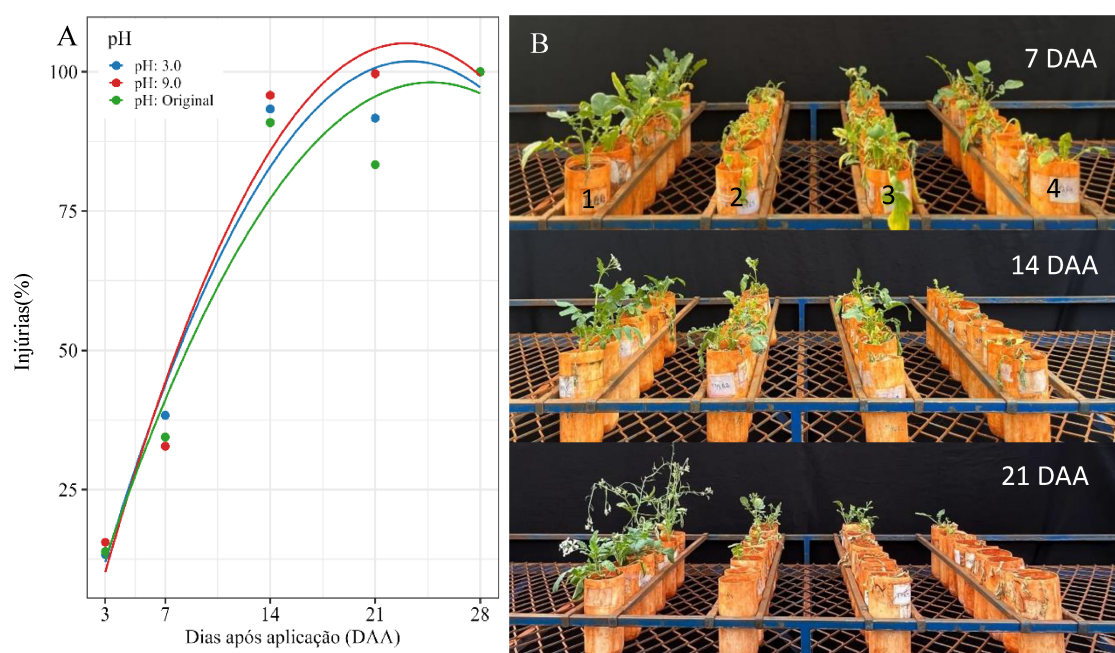


Figura 16. Percentual de injúrias de *Raphanus raphanistrum* após aplicação do glyphosate Roundup Ultra[®] concentração 360 g e.a (1 testemunhas) (2 pH 3,0) (3 pH original) e (4 pH 9,0).

Aos 21 DAA, o pH 9 mantém os maiores valores de controle, enquanto pH 3 apresenta leve redução e o pH original mostra os menores valores entre os tratamentos. O melhor desempenho em pH alcalino sugere que a formulação Ultra apresenta maior estabilidade química ou sistema de adjuvantes menos sensível à alcalinidade.

formulações modernas de glyphosate podem conter surfactantes que reduzem a dependência do pH da calda, permitindo boa eficiência mesmo em condições alcalinas (Green; Hazel, 2015). Além disso, Ramsey et al. (2005) relatam que algumas formulações apresentam maior translocação em tecidos vegetais sob pH mais elevado, dependendo da composição do sal do glyphosate, o que pode explicar o comportamento observado.

Aos 3, 7 e 14 DAA, os tratamentos com pH 3,0 e pH original apresentam respostas mais elevadas do que o pH 9,0 (Figura 17). Aos 21 DAA, todos os tratamentos estão próximos do controle máximo, embora pH 9,0 permaneça ligeiramente inferior. Esse padrão sugere que a eficácia inicial do glyphosate Ultra pode ser favorecida em pH ácido a neutro, possivelmente devido à maior proporção da molécula não dissociada, o que pode facilitar sua penetração foliar (Devkota et al., 2022).

Ainda que com o aumento do tempo os efeitos de pH se minimizem, o desempenho menor do pH 9,0 nos estágios iniciais pode refletir *antagonismo por íons* presentes na água ou menor estabilidade da formulação sob alcalinidade (Cunha et al., 2020).

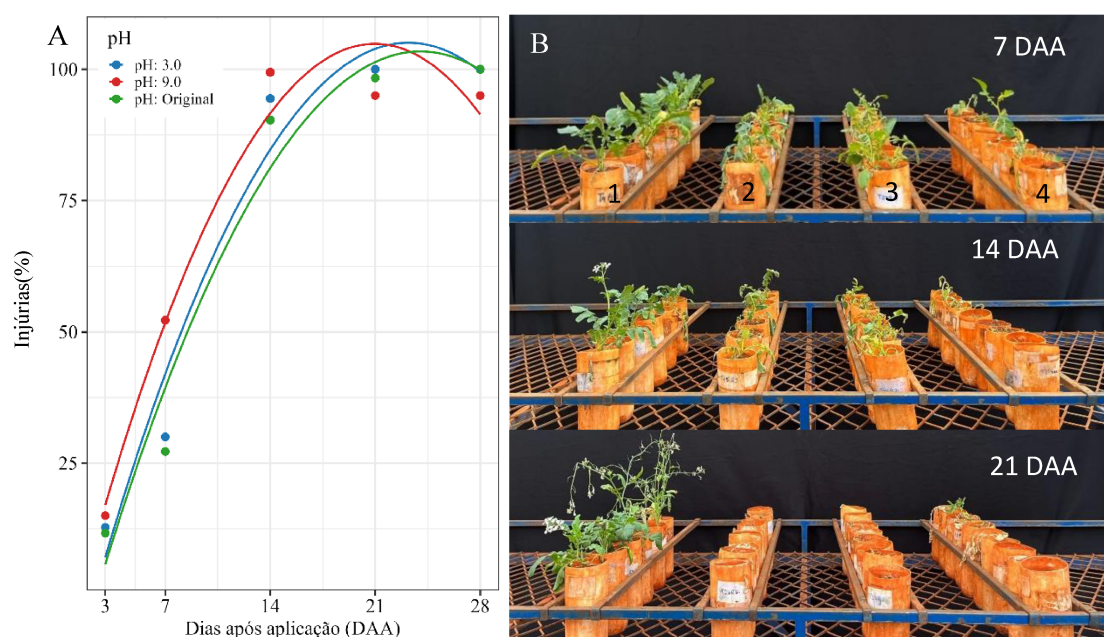


Figura 17. Percentual de injúrias de *Raphanus raphanistrum* após aplicação do glyphosate Roundup WG® concentração 360 g e.a (1 testemunhas) (2 pH 3,0) (3 pH original) e (4 pH 9,0).

Para a calda com Roundup WG®, o pH 9 apresenta controle superior desde os 7 DAA, com aumento acentuado até 14 DAA, atingindo valores máximos. O pH 3 e o pH original apresentam controle inferior nas fases iniciais, porém aumentam progressivamente ao longo do tempo. Aos 21 DAA, observa-se leve redução no controle em pH 9, enquanto pH 3 e pH original atingem níveis elevados e semelhantes.

Formulações do tipo WG (grânulos dispersíveis em água) apresentam dinâmica distinta de dissolução e disponibilidade do ingrediente ativo. Aparicio, (2003) descreve que o pH da

água pode afetar a taxa de dissolução e a estabilidade de formulações sólidas, influenciando a eficiência final do herbicida.

A porcentagem de injúrias do pH 9 pode estar associada à melhor dispersão da formulação WG em meio alcalino, enquanto a convergência dos tratamentos aos 21 DAA indica que, com o tempo, o glyphosate é adequadamente absorvido independentemente do pH.

Na calda Xequê Mate[®] constata-se comportamento relativamente estável entre pH 3 e pH original ao longo de todo o período avaliado (Figura 18). Aos 7 DAA, o pH original apresenta controle ligeiramente superior. Aos 14 DAA, pH 3 e pH original atingem níveis elevados e semelhantes.

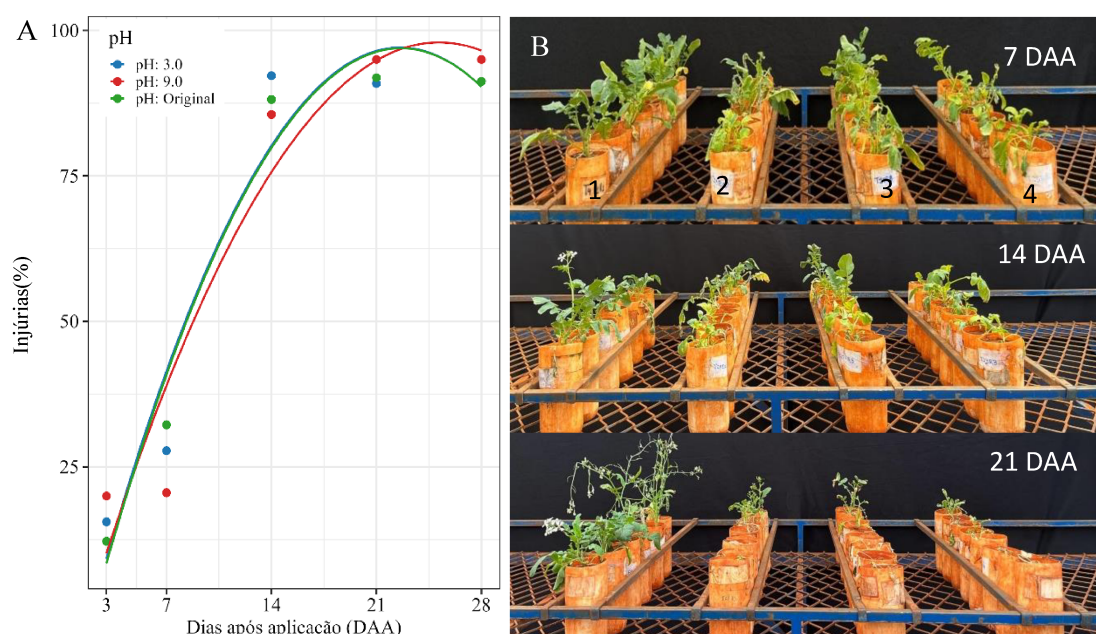


Figura 18. Percentual de injúrias de *Raphanus raphanistrum* após aplicação do glyphosate Xequê Mate[®] concentração 360 g e.a. (1 testemunhas) (2 pH 3,0) (3 pH original) e (4 pH 9,0).

Aos 21 DAA, observa-se incremento do controle em pH 9, superando os demais tratamentos, enquanto pH 3 e pH original mantêm valores altos, porém inferiores. O comportamento observado sugere que a formulação Xequê Mate[®] apresenta menor sensibilidade inicial ao pH, mas responde positivamente a condições alcalinas em avaliações tardias.

A interação entre pH e formulação pode afetar a velocidade de absorção e translocação, sem necessariamente alterar a eficácia final em curto prazo (Kudsk ;Mathiassen, 2004). Além disso, Zabkiewicz, (2007) aponta que diferenças na composição dos surfactantes podem

modificar a retenção e espalhamento da calda, influenciando o controle em períodos mais longos após a aplicação.

Observa-se incremento gradual das notas de controle ao longo do tempo em todos os tratamentos de pH (Figura 19). Aos 3 DAA, o tratamento com pH 9,0 apresenta valores iniciais superiores aos tratamentos com pH 3,0 e pH original. Entretanto, aos 7 DAA, há clara inversão desse comportamento, com pH 3,0 e pH original apresentando controle significativamente superior ao pH 9,0.

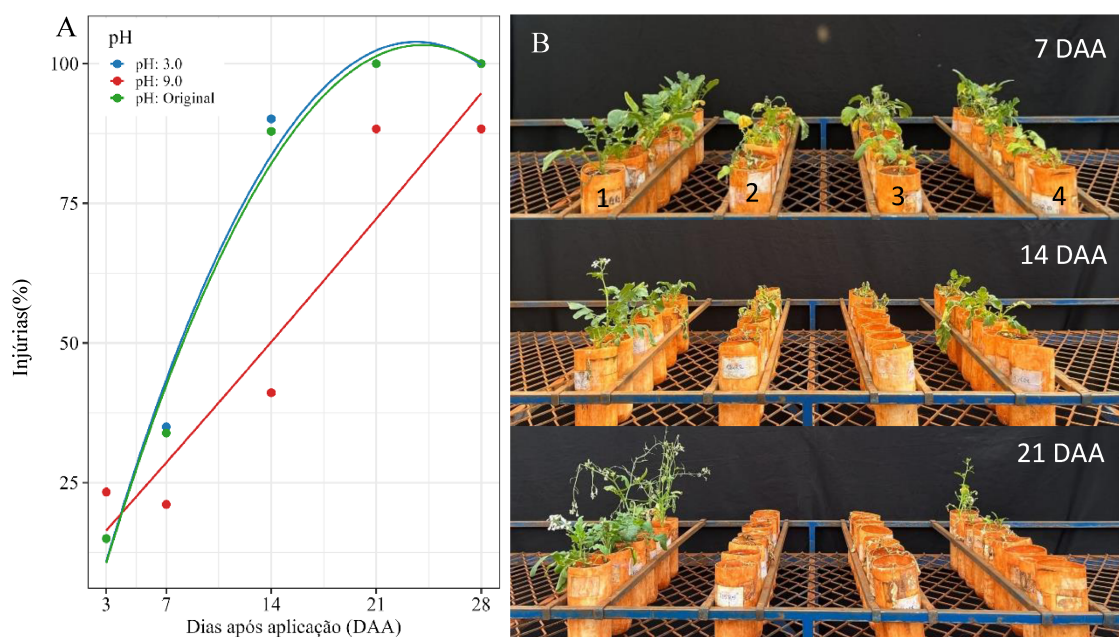


Figura 19. Percentual de injúrias de *Raphanus raphanistrum* após aplicação do glyphosate Zapp Qi 620 concentração 360 g e.a. (1 testemunhas) (2 pH 3,0) (3 pH original) e (4 pH 9,0).

Aos 14 DAA, os tratamentos com pH 3,0 e pH original atingem níveis elevados de controle, próximos ou superiores a 85%, enquanto o pH 9,0 permanece substancialmente inferior. Aos 21 DAA, o pH 3,0 e o pH original alcançam controle máximo ou próximo de 100%, enquanto o pH 9,0, embora aumente, ainda apresenta valores inferiores.

Esse comportamento indica efeito negativo do pH alcalino sobre a eficácia do glyphosate Zapp Qi 620 em avaliações intermediárias e finais. A redução da eficiência em pH elevado pode estar relacionada à maior dissociação da molécula e ao aumento da complexação com cátions presentes na água, reduzindo a fração biologicamente ativa disponível para absorção foliar (Glass, 1987; Nalewaja et al., 1996).

A melhor performance sob pH ácido e pH original sugere maior estabilidade das formulações, favorecem a absorção cuticular e a translocação sistêmica. Segundo Franz et al. (1997), pequenas variações no ambiente químico da calda podem alterar significativamente a dinâmica de absorção do glyphosate, especialmente em espécies de folhas largas.

4.3 Avaliação de matéria seca (MS)

4.3.1 *Raphanus raphanistrum*

Ao observar os valores de matéria seca aos 28 DAA (Figura 20) tem-se os produtos Roundup Transorb® R pH 9,0 e Roundup Ultra® pH original com os valores mais elevados em relação as demais formulações, esse comportamento é notado ao longo do trabalho pois o percentual de injúrias em especial para o Roundup Transorb® R ficou abaixo dos 80% de controle indicando resultado não satisfatório segundo a literatura que retrata que um controle excelente $\geq 85\%$ (Ferreira et al., 2017).

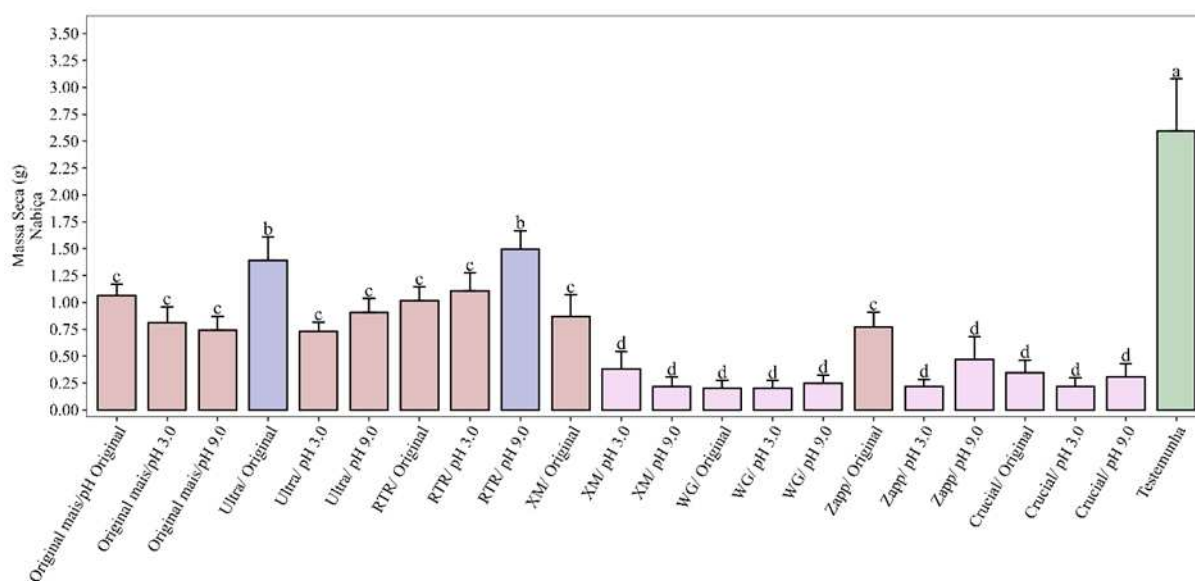


Figura 20. Matéria seca (em gramas) de *Raphanus raphanistrum*.

A redução da produção de matéria seca após aplicação de herbicidas é relatada como um dos principais indicadores de sucesso no controle de plantas (Mashece et al., 2024). No estudo citado, tratamentos eficazes resultaram em redução significativa da matéria seca (com valores entre 0,25 e 0,50 g), confirmando que a biomassa final é um parâmetro confiável para avaliar desempenho herbicida.

Além disso, características da planta *Raphanus raphanistrum*, como os tricomas e a superfície irregular das folhas, podem afetar como a calda de pulverização fica retida e absorvida. Esses fatores explicam as diferenças também corroboram para os resultados encontrados.

5. CONCLUSÃO

A mudança de pH na calda a base de sal de potássio+ Isopropilamina (Crucial®) em pH 3,0 apresentou o melhor desempenho, com cerca de 95% de controle aos 28 dias após a aplicação, evidenciando que a eficácia depende da interação entre formulação, sal constituinte e pH da calda.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHUJA, M.; KUMAR, L.; KUMAR, K.; SHINGATGERI, V. M.; KUMAR, S. Glyphosate: a review on its widespread prevalence and occurrence across various systems. **Environmental Science: Advances**, v. 3, n. 4, p. 574-592, 2024.

AOUN, P. G.; KHAIRALLAH, W.; REJEB, A.; HADDARAH, A. Uso de glifosato em sistemas de cultivo: riscos à saúde e alternativas sustentáveis. **Toxics**, v. 13, n. 12, p. 971, 2025.

APARICIO, V. C. et al. Environmental fate of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in surface waters and soil of agricultural basins. **Chemosphere**, v. 93, n. 9, p. 1866–1873, 2013.

BROWN, T. L. et al. **Química: a ciência central**. 13. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

BUHLER, D. D.; BURNSIDE, O. C. Effect of water quality, carrier volume, and acid on glyphosate phytotoxicity. **Weed Science**, v. 31, n. 2, p. 163–169, 1983.

BUSI, R.; FLOWER, K.; GOGGIN, D.; ONOFRI, A. Patterns of herbicide resistance in *Raphanus raphanistrum* revealed by comprehensive testing and statistical analysis. **Pest Management Science**, v. 80, n. 12, p. 6555–6565, 2024.

CARVALHO, S. J. P. et al. Eficácia e pH de caldas de glifosato após a adição de fertilizantes nitrogenados e utilização de pulverizador pressurizado por CO₂. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 6, p. 569-575, 2009.

CAVALIERI, S. D. et al. Nutrient and shoot dry matter accumulation of two GR soybean cultivars under the effect of glyphosate formulations. **Planta Daninha**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 349–358, 2012.

CUNHA, J. P. A. R. et al. Water hardness and pH in the effectiveness of glyphosate formulations. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 40, n. 2, p. 204-210, 2020.

CUNHA, J. P. A. R. et al. Influence of glyphosate concentrations on spray solution physicochemical characteristics and drift potential. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 40, n. 1, p. 69-77, 2020.

DE RUITER, H.; MEINEN, E. Influence of water quality and adjuvants on glyphosate uptake and translocation. **Weed Research**, v. 38, n. 2, p. 129–136, 1998.

DEVINE, M. D.; DUKE, S. O.; FEDTKE, C. **Physiology of herbicide action**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993.

DEVKOTA, P. et al. Spray water quality and herbicide performance: a review. **Weed Technology**, v. 36, n. 1, p. 1-15, 2022.

DUKE, S. O. The history and current status of glyphosate. **Pest Management Science**, New York, v. 74, n. 5, p. 1027–1034, 2018.

DUKE, S. O.; POWLES, S. B. Glyphosate resistance: status and future outlook. **Weed Science**, v. 60, n. 2, p. 153–160, 2012.

DUKE, S. O.; POWLES, S. B. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. **Pest Management Science**, v. 64, n. 4, p. 319–325, 2008.

ESQUIVEL, V. A. E.; VALLE, O. H. T. Efecto del volumen y el pH del agua en el control de *Ixophorus unisetus* (J. Presl.) Schltld. con glifosato. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 6, n. 1, p. 97–109, 2015.

FERNÁNDEZ, V.; EICHERT, T. Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 36, n. 4, p. 261–284, 2017.

FERREIRA, S. D. et al. Controle de espécies de *Commelina* com dessecantes sozinhos e em misturas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 35, e017165664, 2017.

FRANZ, J. E.; MAO, M. K.; SIKORSKI, J. A. **Glyphosate: a unique global herbicide**. Washington, DC: American Chemical Society, 1997.

FRIED, G.; KAZAKOU, E.; GABA, S. Trajectories of weed communities explained by traits associated with species' response to agricultural intensification. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 279, p. 7–15, 2019.

FRUET, D. L. **Nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.) resistente a inibidores da acetolactato sintase: mecanismo de resistência, análise de crescimento e alternativas**. 2021. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2021.

GALLI, A. J. B.; MONTEZUMA, M. C. **Alguns aspectos da utilização do herbicida glyphosate na agricultura**. Jaboticabal: Monsanto do Brasil, 2005.

GHEREKHLOO, J. et al. Multispecies weed competition and their economic threshold on the wheat crop. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 239–246, 2010.

GREEN, J. M.; BEESTMAN, G. B. Recently patented and commercialized formulation and adjuvant technology. **Crop Protection**, v. 26, n. 3, p. 320–327, 2007.

GREEN, J. M.; HAZEL, C. B. Herbicide formulation technology: chemistry, application, and environmental considerations. **Weed Science**, v. 63, n. sp1, p. 165–176, 2015.

GRIGOLLI, J. F. J. Manejo e controle de plantas daninhas na cultura da soja. In: FUNDAÇÃO MS. **Tecnologia e produção**: soja 2016/2017. Maracaju: Fundação MS, 2017. p. 122-145.

HAZRA, D. K. et al. Recent advances in pesticide formulations for eco-friendly and sustainable vegetable pest management: a review. **Archives of Agriculture and Environmental Science**, v. 2, n. 3, p. 232–237, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Manual de agrotóxicos**. 2. ed. Brasília, DF: IBAMA, 2023.

IQBAL, N. et al. Comparative analysis of growth and physiological responses of wheat and weeds under competition. **Planta**, v. 245, n. 2, p. 320-330, 2017.

KALIVAS, D. P. et al. Spatial relationships between soil properties and weed species distribution in cotton fields. **Soil and Tillage Research**, v. 120, p. 99–107, 2012.

KAUR, P.; KAUR, P.; BHULLAR, M. S. Aspectos ambientais do uso de herbicidas no cenário da agricultura intensiva de Punjab. In: PRASAD, R. (org.). **Pesquisa sobre resíduos de herbicidas na Índia**. Cham: Springer, 2019. p. 1-25.

KIRKWOOD, R. C. Recent developments in our understanding of the plant cuticle as a barrier to the foliar uptake of pesticides. **Pesticide Science**, v. 55, n. 1, p. 69–77, 1999.

KLÁTYIK, S.; SIMON, G.; OLÁH, M. et al. Ecotoxicidade terrestre do glifosato, suas formulações e coformulantes: evidências de 2010 a 2023. **Environmental Sciences Europe**, v. 35, n. 1, p. 51, 2023.

KUDSK, P.; MATHIASSEN, S. K. Influence of formulation and adjuvants on herbicide activity. **Weed Research**, v. 44, n. 4, p. 287–295, 2004.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução de Danimar S. G. S. Lopes e Maria A. S. G. S. Lopes. São Carlos: Rima, 2000.

LEAL, M. V. G. et al. pH dependence of glyphosate adsorption using functionalized cellulose microfibers. **Pure and Applied Chemistry**, v. 95, n. 4, p. 433-445, 2023.

LI, J. et al. Effect of glyphosate and phosphorus on plant growth and herbicide performance. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1-12, 2021.

MAGRI, L. P. **Quantificação de acidez titulável e pH utilizando técnica potenciométrica como indicador de qualidade do leite bovino**. 2015. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

- MARTINI, G.; PEDRINHO JR., A. F.; DURIGAN, J. C. Eficácia do herbicida glifosato-potássico submetido à chuva simulada após a aplicação. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 39–45, 2003.
- MASHECE, W. et al. Effect of herbicides on forage dry matter yield and plant density in the old arable lands in communal area of the Eastern Cape Province, South Africa. **International Journal of Plant Biology**, v. 15, n. 1, p. 10-22, 2024.
- MCMULLAN, P. M. Utility adjuvants. **Weed Technology**, v. 14, n. 4, p. 792–797, 2000.
- MELO, T. S. et al. Do different autumn-winter crops correlate with various times and doses of glyphosate in desiccation influence weed infestation in soybean crops? **Research, Society and Development**, v. 14, n. 4, e48545, 2024.
- NALEWAJA, J. D.; MATYSIAK, R. Influence of water hardness and ammonium sulfate on glyphosate phytotoxicity. **Weed Technology**, v. 7, n. 4, p. 859–866, 1993.
- NEPOMUCENO, M. P. et al. Interferência de plantas daninhas na cultura da soja sob dois sistemas de semeadura. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 43–50, 2007.
- NIEMEYER, J. C. et al. Do recommended doses of glyphosate-based herbicides affect soil invertebrates? **Chemosphere**, v. 198, p. 154–160, 2018.
- OLIVEIRA, R. B.; ANTUNIASSI, U. Caracterização física e química e potencial de deriva de caldas contendo surfatantes em pulverizações agrícolas. **Energia na Agricultura**, v. 27, n. 1, p. 138–149, 2012.
- PALMA-BAUTISTA, C. et al. Effect of adjuvant on glyphosate effectiveness, retention, absorption and translocation in *Lolium rigidum* and *Conyza canadensis*. **Plants**, v. 9, n. 3, p. 297, 2020.
- PIASECKI, C. **Modo de ação e sintomatologia**: como funcionam os herbicidas da absorção aos efeitos tóxicos que controlam as plantas daninhas. Passo Fundo: Metrics, 2024.
- PITELLI, R. A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. In: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (org.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 1-36.
- RAMOS, F. P.; DURIGAN, J. C. Interferência de plantas daninhas no crescimento e produtividade da soja. **Planta Daninha**, v. 14, n. 2, p. 177–183, 1996.
- RAMSEY, R. J. L.; STEPHENSON, G. R.; HALL, J. C. A review of glyphosate uptake and translocation in plants. **Weed Science**, v. 53, n. 3, p. 333–349, 2005.
- SCHERNER, A. et al. Suscetibilidade de duas gramas-boiadeiras a diferentes formulações de glyphosate. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 3, p. 400–406, 2014.
- SCHWARZENBACH, R. P. **Environmental organic chemistry**. New York: John Wiley & Sons, 1993.

SHANER, D. L. **Herbicide handbook**. 10. ed. Lawrence: Weed Science Society of America, 2014.

SHARMA, S. D.; SINGH, M. Optimizing foliar activity of glyphosate. **Weed Biology and Management**, v. 1, n. 1, p. 37–43, 2001.

SILVA JUNIOR, A. C. et al. Effect of glyphosate on guineagrass submitted to different water deficit levels. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 36, e018161420, 2018.

SINGH, S. et al. Absorção, translocação, surgimento de resistência ao glifosato em culturas, monitoramento analítico, toxicidade e degradação: uma revisão. **Environmental Chemistry Letters**, v. 18, n. 3, p. 663–702, 2020.

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

SOUZA, D. et al. Influence of spraying schedule on the control of horseweed plants (*Conyza* spp.). **Brazilian Journal of Science**, v. 1, n. 2, p. 1–9, 2021.

THELEN, K. D.; JACKSON, E. P.; PENNER, D. The basis for glyphosate antagonism by calcium. **Weed Technology**, v. 9, n. 2, p. 282–287, 1995.

TRAVLOS, I.; CHEIMONA, N.; BILALIS, D. Glyphosate efficacy of different salt formulations and adjuvant additives on various weeds. **Agronomy**, v. 7, n. 3, p. 60, 2017.

VELHO, G. F. et al. Interferência de *Brachiaria plantaginea* com a cultura do arroz, cv. Primavera. **Planta Daninha**, v. 30, n. 1, p. 17–26, 2012.

WANAMARTA, G.; PENNER, D. Foliar absorption of ¹⁴C-glyphosate in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). **Weed Science**, v. 37, n. 4, p. 593–598, 1989.

WANDSCHEER, A. C. D. et al. Competitividade de capim-pé-de-galinha com soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 12, p. 2125–2131, 2013.

ZABKIEWICZ, J. A. Spray formulation efficacy—holistic and futuristic perspectives. **Crop Protection**, v. 26, n. 3, p. 312–319, 2007.