

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

FELIPE NASCIMENTO FARIA CARDOSO

**RESIDUAL DO CLOMAZONA NO SOLO E INFLUÊNCIA NAS CULTURAS DO
ALHO E CEBOLA**

Uberlândia

2026

FELIPE NASCIMENTO FARIA CARDOSO

**RESIDUAL DO CLOMAZONA NO SOLO E INFLUÊNCIA NAS CULTURAS DO
ALHO E CEBOLA**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Uberlândia, como parte das
exigências do Programa de Pós-graduação em
Agronomia para obtenção do título de Mestre

Área de concentração: Fitotecnia

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Renata Castoldi
Coorientador: Dr. Luciano Fonseca

Uberlândia

2026

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

C268
2026
Cardoso, Felipe Nascimento Faria, 1999-
RESIDUAL DO CLOMAZONA NO SOLO E INFLUÊNCIA NAS
CULTURAS DO ALHO E CEBOLA [recurso eletrônico] / Felipe
Nascimento Faria Cardoso. - 2026.

Orientadora: Renata Castoldi.

Coorientador: Luciano Fonseca.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Pós-graduação em Agronomia.

Modo de acesso: Internet.

DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2026.390>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Castoldi, Renata, 1982-, (Orient.). II. Fonseca,
Luciano, 1984-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia.
Pós-graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



ATA

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 004/2026, PPGAGRO				
Data:	Nove de abril de dois mil e vinte e seis	Hora de início:	09:00	Hora de encerramento:	11:40
Matrícula do Discente:	12412AGR005				
Nome do Discente:	Felipe Nascimento Faria Cardoso				
Título do Trabalho:	RESIDUAL DO CLOMAZONA NO SOLO E INFLUÊNCIA NAS CULTURAS DO ALHO E CEBOLA				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Produção Vegetal em Áreas de Cerrado				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Cleyton Batista de Alvarenga - UFU; José Magno Queiroz Luz - UFU; Luciano Ferreira da Fonseca - FMC Corporation - Brasil; Renata Castoldi - UFU - orientadora do candidato.

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa, Dra. Renata Castoldi, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu à Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do(a) Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir a senhora presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o candidato:

Aprovado

Essa dissertação possui mérito para ser indicada como destaque do Programa? () SIM NÃO (X)

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Renata Castoldi, Professor(a) do Magistério Superior**, em 09/04/2026, às 11:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cleyton Batista de Alvarenga, Professor(a) do Magistério Superior**, em 09/04/2026, às 11:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **José Magno Queiroz Luz, Professor(a) do Magistério Superior**, em 09/04/2026, às 11:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luciano Ferreira da Fonseca, Usuário Externo**, em 09/04/2026, às 13:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **7213258** e o código CRC **1E9C6CD8**.

FELIPE NASCIMENTO FARIA CARDOSO

**RESIDUAL DO CLOMAZONA NO SOLO E INFLUÊNCIA NAS CULTURAS DO
ALHO E CEBOLA**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Uberlândia, como parte das
exigências do Programa de Pós-graduação em
Agronomia para obtenção do título de Mestre

Área de concentração: Fitotecnia

APROVADO EM: 09 de abril de 2026.

Renata Castoldi – Doutora (UFU)

José Magno Queiroz Luz – Doutor (UFU)

Cleyton Batista de Alvarenga – Doutor (UFU)

Luciano Fonseca – Doutor (UFU)

Dedico este trabalho aos meus pais, Reginaldo
e Evani, por todo amor, apoio e incentivo
incondicional ao longo da minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de sabedoria e fortaleza, minha sincera gratidão por conduzir meus passos ao longo desta trajetória. Sua presença constante foi alicerce nos momentos de incerteza e impulso nos desafios que marcaram esta caminhada.

Aos meus pais, Reginaldo e Evani, expresso minha mais profunda gratidão. Vocês são a base de tudo que sou. O amor, os ensinamentos, o apoio incondicional e os valores transmitidos ao longo da vida foram determinantes para que eu chegasse até aqui. Cada conquista carrega o esforço e o exemplo de vocês.

À minha namorada, Marcelli, pelo companheirismo, incentivo e compreensão durante todo esse processo. Sua presença foi essencial nos momentos de maior exigência, tornando a caminhada mais leve e fortalecendo minha determinação para concluir esta etapa.

À minha orientadora, Dra. Renata, manifesto minha gratidão pela orientação criteriosa, pela confiança depositada e pela disponibilidade em aceitar e conduzir este trabalho. Sua dedicação, rigor científico e comprometimento foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu coorientador, Dr. Luciano, pesquisador da FMC, pela valiosa coorientação, pelo suporte técnico e científico e, especialmente, pela disponibilização da estrutura necessária para a condução experimental do estudo junto à FMC. Sua colaboração foi decisiva para a qualidade e execução desta pesquisa.

Aos amigos e colegas que compartilharam essa jornada acadêmica, pelos aprendizados, desafios superados e momentos de convivência que tornaram essa etapa ainda mais significativa.

À Universidade Federal de Uberlândia e a todos os professores e profissionais que contribuíram para minha formação acadêmica e profissional, deixo meu reconhecimento e gratidão.

RESUMO

A presença de resíduos do herbicida no solo pode comprometer o estabelecimento de culturas como o alho (*Allium sativum* L.) e cebola (*Allium cepa* L.) em sistemas de sucessão. O clomazona, amplamente utilizado na cultura da soja como herbicida pré-emergente desempenha papel importante na redução da pressão de seleção de plantas daninhas resistentes, porém seu efeito residual pode comprometer culturas sensíveis implantadas em sucessão. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito residual do clomazona nas culturas do alho e da cebola, visando determinar intervalos seguros entre a aplicação do herbicida e o plantio dessas culturas. O experimento foi conduzido em condições de campo em solo de textura argilo-arenosa fina. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três blocos e sete tratamentos, correspondentes a diferentes intervalos entre a aplicação do clomazona ($1,5 \text{ L ha}^{-1}$) e o plantio das culturas: testemunha (sem herbicida), 0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após a aplicação (DAA), em que 0 DAA representa o plantio realizado no mesmo dia da aplicação do herbicida. Foram avaliadas fitotoxidez, estande de plantas, altura de plantas e produtividade. Os dados foram submetidos aos testes de pressuposições da análise de variância a 5% de probabilidade. Posteriormente, realizou-se a análise de variância, sendo estande, altura e produtividade comparados à testemunha pelo teste de Dunnett (5%), enquanto a fitotoxidez foi modelada por regressão exponencial com assíntota fixa em zero. Para a cultura do alho, o teste de Dunnett indicou que a produtividade não diferiu significativamente da testemunha quando o plantio foi realizado a partir de 30 dias após a aplicação do herbicida. Para o alho, a produtividade não diferiu da testemunha a partir de 30 dias após a aplicação (DAA). A regressão exponencial da fitotoxidez indicou dissipação gradual do efeito residual, com ausência de sintomas visuais estimada em aproximadamente 75 dias após a aplicação. Para a cebola, observou-se redução significativa de produtividade até 60 DAA, evidenciando maior sensibilidade da cultura ao clomazona. A regressão exponencial indicou que a fitotoxidez residual pode persistir por período mais prolongado, com estabilização estimada em aproximadamente 120 dias após a aplicação. Esses resultados demonstram maior tolerância do alho e maior sensibilidade da cebola ao herbicida. Nas condições deste estudo, os resultados indicam intervalos de aproximadamente 75 dias para o alho e 120 dias para a cebola, os quais podem variar em função da textura do solo e das condições edafoclimáticas.

Palavras-chave: rotação de culturas; *Allium sativum*; *Allium cepa*; herbicidas pré-emergentes.

ABSTRACT

The presence of herbicide residues in the soil can compromise the establishment of crops such as garlic (*Allium sativum* L.) and onion (*Allium cepa* L.) in succession systems. Clomazone, widely used in soybean as a pre-emergence herbicide, plays an important role in reducing the selection pressure of resistant weeds; however, its residual activity may negatively affect sensitive crops grown in succession. Thus, this study aimed to evaluate the residual effect of clomazone on garlic and onion, in order to determine safe intervals between herbicide application and crop planting. The experiment was conducted under field conditions in a sandy clay loam soil. The experimental design was a randomized complete block design with three blocks and seven treatments, corresponding to different intervals between clomazone application (1.5 L ha^{-1}) and crop planting: control treatment (without herbicide), 0, 30, 60, 90, 120, and 150 days after application (DAA), where DAA represents planting on the same day as herbicide application. Phytotoxicity, plant stand, plant height, and yield were evaluated. Data were subjected to analysis of variance assumptions at a 5% significance level. Subsequently, analysis of variance was performed, with stand, height, and yield compared to the control using Dunnett's test (5%), while phytotoxicity was modeled using exponential regression with a zero asymptote. For garlic, yield did not differ significantly from the control when planting was performed from 30 days after application onwards. Exponential regression indicated a gradual dissipation of the residual effect, with the absence of visual injury symptoms estimated at approximately 75 days after application. For onion, a more sensitive crop, significant yield reductions were observed when planting occurred up to 60 DAA. Exponential regression indicated that residual phytotoxicity may persist for a longer period, with curve stabilization estimated at approximately 120 days after application. These results demonstrate greater tolerance of garlic and higher sensitivity of onion to clomazone. Under the conditions of this study, the results indicate minimum safe intervals of approximately 75 days for garlic and 120 days for onion, which may vary depending on soil texture and edaphoclimatic conditions.

Keywords: crop rotation; *Allium sativum*; *Allium cepa*; pre-emergent herbicides.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	MATERIAL E MÉTODOS	10
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4	CONCLUSÃO	19
	REFERÊNCIAS	21

1 INTRODUÇÃO

A rotação de culturas é uma prática amplamente utilizada para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, contribuindo para o manejo de plantas daninhas, redução da pressão de pragas e doenças e manutenção da fertilidade do solo (Silva *et al.*, 2022). Entretanto, em sistemas que utilizam herbicidas com atividade residual, a sucessão de culturas pode ser limitada pela persistência dessas moléculas no solo, o que aumenta o risco de efeitos fitotóxicos em culturas subsequentes.

Em sistemas de produção nos quais a soja constitui a cultura principal, geralmente rotacionada com gramíneas como milho, sorgo ou trigo (Simão *et al.*, 2023), a inserção de espécies hortícolas, como o alho (*Allium sativum* L.) e a cebola (*Allium cepa* L.), representa uma alternativa agronomicamente relevante para diversificação da produção e melhor aproveitamento das áreas agrícolas (Ding *et al.*, 2020).

Atualmente, o alho figura entre as hortaliças de maior relevância econômica na produção agrícola brasileira. Nos últimos anos, o consumo anual manteve-se estável, em torno de 300 mil toneladas, correspondendo a aproximadamente 1,5 kg por habitante (FAO, 2023). No ano de 2023, a produção nacional alcançou 184.844 toneladas, em uma área plantada de 13.544 hectares, resultando em produtividade média de 13.648 kg ha⁻¹, com destaque para os estados de Minas Gerais e Goiás (IBGE, 2023).

Assim como o alho, a cebola (*Allium cepa* L.) é uma cultura de importância mundial, sendo uma das hortaliças mais cultivadas e consumidas, ocupando posição de destaque tanto pelo seu valor econômico quanto pelo seu uso culinário e medicinal (Figueiredo *et al.*, 2022). No Brasil, a cultura da cebola tem expressiva importância social e econômica, sendo responsável pela geração de emprego e renda em diversas regiões produtoras, especialmente nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste (Balduino *et al.*, 2018).

Contudo, o sucesso dessa sucessão não depende apenas da adaptação das culturas, mas também da compatibilidade com o manejo químico adotado na cultura anterior, uma vez que herbicidas com atividade residual podem persistir no solo e causar efeitos fitotóxicos em culturas subsequentes sensíveis. A seleção de plantas daninhas resistentes ao glyphosate tem impulsionado o uso de herbicidas pré-emergentes como alternativa no manejo químico (Sammons; Gaines, 2014).

Portanto, o manejo de plantas daninhas resistentes geralmente requer a integração de diferentes herbicidas e estratégias. Nesse contexto, o uso de herbicidas com atividade residual no pré-plantio ou na dessecação tem como principal objetivo suprimir o primeiro fluxo de

emergência das plantas daninhas, reduzindo reinfestações precoces (Roncatto *et al.*, 2023). Entre esses, o clomazona tem se destacado por sua capacidade de permanecer ativa no solo, proporcionando controle preventivo logo nas fases iniciais de desenvolvimento das plantas invasoras.

O clomazona (2-(2-clorobenzil)-4,4-dimetil-1,2-oxazolidin-3-ona) é um herbicida de ação pré-emergente, pertencente à família das isoxazolidinonas, que está sendo utilizado na cultura da soja, puro e também associado a outros herbicidas, devido a seu efeito residual (Vencil *et al.*, 1989, Jovanović-Radovanov, 2025). Possui eficácia no controle de várias gramíneas anuais importantes, bem como em plantas de folhas largas em grandes plantações. Após a absorção pelas raízes, o clomazone é translocado para a parte aérea, onde atua inibindo a biossíntese de carotenoides, comprometendo a proteção da clorofila. Como consequência, as plantas apresentam sintomas característicos de branqueamento foliar, redução do crescimento e, em casos mais severos, morte (Oliveira Junior *et al.*, 2021).

O clomazona apresenta persistência variável no solo, com meia-vida podendo variar de 6 a 117 dias em condições de campo, dependendo das características edafoclimáticas (Santos *et al.*, 2008). Essa persistência está associada à sua alta solubilidade em água e à dinâmica de sorção, influenciada principalmente pelo teor de matéria orgânica do solo (Włodarczyk *et al.*, 2016). Como consequência, o herbicida pode permanecer disponível no ambiente por períodos prolongados, aumentando o risco de lixiviação e, principalmente, de efeitos fitotóxicos em culturas sensíveis subsequentes.

A presença de resíduos do herbicida clomazona no solo pode comprometer o estabelecimento de culturas sensíveis em sucessão, especialmente espécies do gênero *Allium* (Gheno *et al.*, 2016). Em sistemas agrícolas que envolvem o cultivo destas espécies, a ocorrência de resíduos pode comprometer o estabelecimento e o crescimento inicial da cultura, resultando em perdas de produtividade e qualidade comercial (Melo *et al.*, 2016).

A inclusão estratégica de espécies, como o alho e a cebola em sistemas de rotação exige o conhecimento prévio de práticas adotadas no cultivo anterior, visto que apresentam elevada sensibilidade a herbicidas residuais, especialmente devido ao crescimento inicial lento e ao sistema radicular superficial, o que aumenta sua exposição às moléculas presentes na camada superficial do solo. (Guimarães, 2017). Portanto, o conhecimento sobre o comportamento residual dos herbicidas é fundamental para orientar decisões agronômicas, como o intervalo de reentrada da cultura e o planejamento de sistemas de rotação de culturas.

A avaliação do efeito residual do herbicida clomazona sobre culturas sensíveis, como o alho e a cebola, é essencial para compreender seu impacto no estabelecimento e desempenho

produtivo em sistemas de sucessão. Hipotetizou-se que o efeito residual do clomazona no solo compromete o estabelecimento inicial dessas culturas, sendo reduzido à medida que aumenta o intervalo entre a aplicação do herbicida e o plantio, além de haver diferenças de sensibilidade entre alho e cebola.

Diante disso, este estudo teve por objetivo avaliar o efeito residual do clomazona nas culturas do alho e cebola, visando gerar intervalos seguros entre a aplicação e o plantio dessas culturas em sistema de sucessão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, na estação de pesquisa GeneticSeeds, no município de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. A área experimental situa-se a 915 m de altitude, nas coordenadas geográficas 18°54'01,8'' S e 48°09'40'' O. As condições edafoclimáticas da região são representativas de áreas agrícolas do bioma Cerrado, caracterizadas por solos de textura média a argilosa e clima tropical, permitindo avaliar o comportamento residual de herbicidas em condições típicas desses sistemas de produção em condições reais de cultivo.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com três blocos e sete tratamentos, conduzidos de forma independente para cada cultura. Foram instalados dois canteiros distintos, um destinado ao alho e outro à cebola, cada um constituindo um experimento separado, com três blocos e os mesmos tratamentos. A unidade experimental foi composta por parcelas de 4 m de comprimento por 1,5 m de largura, contendo duas linhas duplas de cada cultura. Os tratamentos consistiram em diferentes épocas de aplicação do herbicida clomazona (Reator® – 2-(2-chlorobenzyl)-4,4-dimethyl-1,2-oxazolidin-3-one), na dose de 1,5 L ha⁻¹ do produto comercial, correspondendo a: i) T1 = 0 Dias Após a Aplicação do herbicida (DAA); ii) T2 = 30 DAA; iii) T3 = 60 DAA; iv) T4 = 90 DAA; v) T5 = 120 DAA; vi) T6 = 150 DAA ; vii) T7 = Sem aplicação de herbicida.

O solo foi classificado como de textura argilo-arenosa fina, com 51% de areia, 39% de argila e 10% de silte, apresentando pH em CaCl₂ de 5,2, pH em H₂O de 5,6, matéria orgânica de 1,4% e CTC a pH 7 de 6,09 mmolc dm⁻³.

A adubação de plantio consistiu na aplicação de 250 kg ha⁻¹ de fosfato monoamônico (MAP). A complementação de nitrogênio e potássio foi realizada em cobertura via fertirrigação, utilizando ureia e cloreto de potássio (KCl) como fontes dos nutrientes. Ao longo do ciclo,

foram fornecidos 90 kg ha⁻¹ de N e 120 kg ha⁻¹ de K₂O, seguindo manejo nutricional compatível com as exigências das culturas (Filgueira, 2013).

O preparo dos canteiros foi realizado previamente à instalação do experimento, com antecedência correspondente ao tratamento de 150 dias antes do plantio. A aplicação do herbicida clomazona foi realizada em diferentes momentos anteriores ao plantio, de forma a compor os intervalos de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após a aplicação (DAA). Assim, o tratamento de 150 DAA correspondeu à aplicação realizada 150 dias antes do plantio, enquanto o tratamento de 0 DAA correspondeu à aplicação realizada no mesmo dia do plantio.

As pulverizações foram realizadas com pulverizador costal pressurizado a CO₂, equipado com barra contendo quatro pontas de jato plano tipo leque TT11002, espaçadas a 0,5 m. A altura de aplicação (0,5 m em relação ao alvo) foi mantida por meio de regulagem fixa da barra e controle operacional durante o deslocamento. O volume de calda aplicado foi de 150 L ha⁻¹. A calda foi preparada e dosada em recipientes plásticos de 2 L, correspondendo à aplicação de 20 mL do produto comercial por recipiente de acordo com a dose estabelecida. As aplicações foram realizadas sobre o solo em condição friável, no início do período da manhã. As condições meteorológicas no momento das aplicações foram monitoradas em campo, com temperatura do ar entre 25 e 30 °C, umidade relativa entre 55 e 85% e velocidade do vento entre 1,0 e 5,0 km h⁻¹, mensuradas por meio do termo-higro anemômetro.

O plantio foi realizado em 10 de maio de 2024, sendo utilizado a cultivar de alho Ito e a cultivar de cebola Podium, ambas amplamente utilizadas em sistemas comerciais e adaptadas às condições edafoclimáticas da região. A densidade de plantio, espaçamento e profundidade de semeadura seguiram as recomendações técnicas específicas para cada cultura.

A irrigação instalada foi via gotejamento localizado de forma a atender as exigências hídricas de cada cultura, considerando que o alho requer manejo especial com interrupção da irrigação em fase de diferenciação dos bulbilhos para favorecer a maturação dos bulbos (Marouelli *et al.*, 2012).

Foram avaliadas as variáveis fitotoxidez, estande de plantas, altura de plantas e produtividade. A fitotoxidez permite identificar sintomas visuais de injúria, enquanto o estande e a altura de plantas refletem o impacto sobre o estabelecimento e o crescimento inicial. A produtividade, por sua vez, integra os efeitos do herbicida ao longo do ciclo, permitindo avaliar possíveis perdas agronômicas decorrentes da persistência do clomazona.

A fitotoxicidade foi avaliada aos 7, 14, 21 e 30 dias após a emergência (DAE) por meio de estimativas visuais, atribuídas em porcentagem, conforme a intensidade dos sintomas observados nas plantas de alho e cebola, em que 0% representou ausência de injúria e 100%

representou o comprometimento total da planta. Os sintomas característicos incluíram branqueamento foliar, redução do vigor e atraso no crescimento inicial, típicos do modo de ação do clomazona, conforme figura 1.

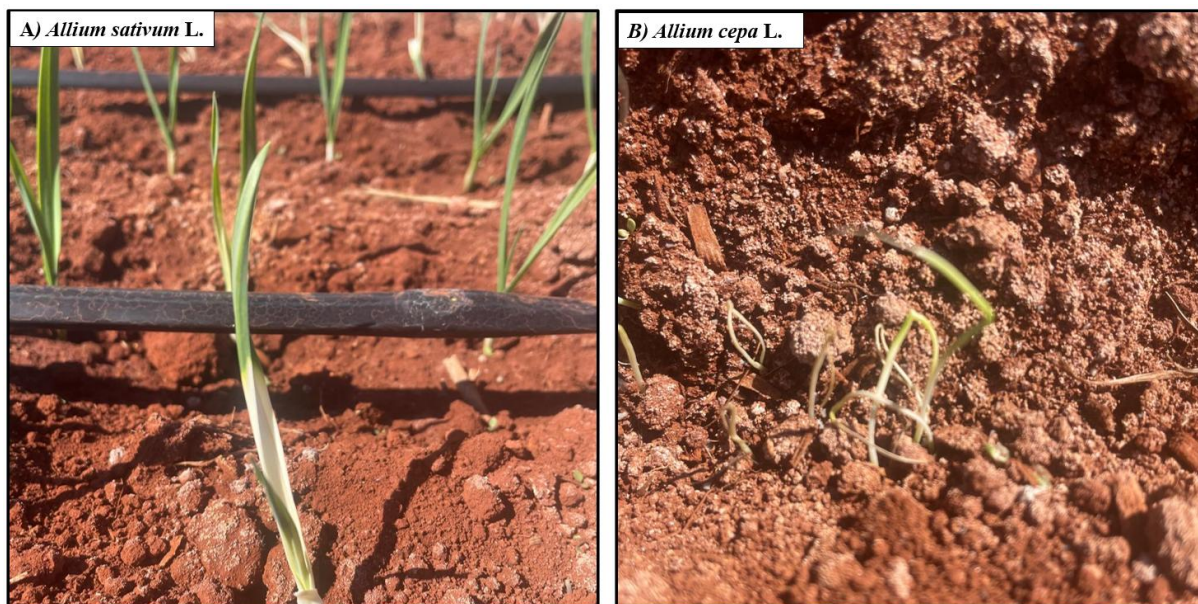


Figura 1 – Sintomas visuais de fitotoxicidade causados pelo efeito residual do herbicida clomazona em plantas de alho (*Allium sativum* L.) (A) e cebola (*Allium cepa* L.) (B) em estádios iniciais de desenvolvimento. Fonte: Autor (2024).

O estande de plantas foi obtido pela contagem do número de plantas por metro linear aos 30 dias após a emergência (DAE), período em que as plantas já se encontravam estabelecidas, permitindo avaliar de forma consistente o efeito do herbicida sobre a emergência e a sobrevivência inicial das culturas.

A altura de plantas foi mensurada em centímetros, utilizando-se régua graduada, também aos 30 DAE. Para a cultura do alho, como o experimento foi conduzido com duas linhas duplas por parcela, os valores de produtividade foram ajustados proporcionalmente para o equivalente a quatro linhas duplas, arranjo comumente utilizado em condições comerciais devido ao maior adensamento da cultura, mantendo-se a extrapolação dos resultados para toneladas por hectare ($t\ ha^{-1}$). Para a cultura da cebola, a produtividade foi estimada apenas pela extrapolação direta da área útil para hectare, sem correção para aumento no número de linhas duplas.

A colheita da cebola ocorreu no dia 16 de outubro de 2024, aos 159 DAE, quando atingiu a maturidade fisiológica, enquanto o alho foi colhido no dia 03 de setembro de 2024, aos 116 DAE.

Os dados foram submetidos aos testes de pressuposições da análise de variância, incluindo normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias avaliados a 5% de probabilidade pelos testes de Shapiro–Wilk e O’Neill e Mathews, respectivamente. Os critérios de aceitação consideraram valores de $p > 0,05$. As análises foram realizadas no software R, por meio do ambiente RStudio (R Core Team, 2025).

Atendidas as pressuposições utilizou-se o teste de Dunnett a 5% de probabilidade para a comparação entre os tratamentos e a testemunha. Além disso, realizou-se análise de regressão, a fim de avaliar o comportamento da variável fitotoxidez em função do intervalo de dias entre a aplicação do clomazona e a semeadura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados evidenciam respostas contrastantes entre as culturas avaliadas, com o alho apresentando maior tolerância e a cebola maior sensibilidade ao efeito residual do herbicida clomazona. De acordo com Jovanović-Radovanov (2025), a resposta de diferentes culturas ao residual do herbicida não é igual, variando conforme a espécie avaliada, o que reforça a importância de considerar intervalos de datas distintos para cada cultura em áreas com histórico de aplicação de clomazona.

A análise pelo teste de Dunnett indicou que, para a cultura do alho, não houve diferença significativa em altura de plantas e número de plantas por metro em relação à testemunha em nenhum dos tratamentos (Tabela 1). Do ponto de vista agrônomo, esse resultado indica que o efeito residual do clomazona não comprometeu o estabelecimento nem o crescimento vegetativo inicial da cultura, mesmo nos menores intervalos entre aplicação e plantio.

Em relação à produtividade, observou-se diferença significativa apenas no tratamento em que o plantio foi realizado no mesmo dia da aplicação do herbicida (0 DAA), com redução de 23,03% em relação à testemunha (Tabela 1). Esse resultado evidencia a existência de uma janela crítica de exposição ao herbicida logo após a aplicação, na qual a elevada disponibilidade do clomazona no solo pode afetar diretamente o desempenho da cultura.

Nos demais intervalos (≥ 30 DAA), a ausência de diferenças estatísticas em produtividade indica que o efeito residual foi reduzido a níveis agronomicamente seguros, tornando-se indistinguível da testemunha. Considerando conjuntamente as variáveis avaliadas

observa-se que a redução de produtividade em 0 DAA não esteve associada a alterações expressivas em estande ou altura de plantas, sugerindo que o efeito do clomazona ocorreu de forma mais sutil, acometido principalmente pela fitotoxidez observada sem comprometer o crescimento vegetativo.

Tabela 1 - Altura de plantas (cm), número de plantas por metro e produtividade (kg ha⁻¹) do alho (*Allium sativum* L.) em função de diferentes períodos de tempo após a aplicação do tratamento (0, 30, 60, 90, 120 e 150 DAA) em comparação com a testemunha

Tratamentos	Altura de plantas (cm)	Número de plantas por metro	Produtividade (t ha ⁻¹)
0 DAA	37,4	11,5	6,0*
30 DAA	38,3	11,8	7,0
60 DAA	38,6	11,4	7,6
90 DAA	38,2	11,0	7,9
120 DAA	38,7	11,4	7,8
150 DAA	38,6	11,3	7,6
Testemunha	43,3	10,3	7,8
C.V. (%)	5,65	4,37	5,79
Sw	0,49	0,45	0,25
F	0,64	0,37	0,23

Valores seguidos de asterisco * indicam diferença significativa em relação à testemunha, pelo teste de Dunnet a 5% de probabilidade. DAA – Dias após a aplicação. Sw – Significância do teste de Shapiro–Wilk. F – Significância do teste de O’Neill & Mathews. C.V. – coeficiente de variação.

A variável fitotoxidez foi modelada por regressão exponencial com assíntota fixa em zero, permitindo descrever a dissipação do efeito residual do herbicida ao longo do intervalo entre aplicação e plantio.

Para o alho, as curvas apresentaram ajuste significativo em todas as épocas de avaliação, evidenciando padrão consistente de decaimento da injúria com o aumento do intervalo. Com base no critério de X₉₅, estimou-se que 95% da injúria visual inicial é dissipada entre 60 e 75 dias após a aplicação (Figura 2). Ressalta-se que o X₉₅ representa uma estimativa operacional da estabilização da curva de fitotoxidez, indicando a redução dos sintomas visuais a níveis mínimos.

Do ponto de vista agrônomo, esses resultados indicam que o clomazona apresenta redução progressiva da injúria ao longo do tempo. A convergência das curvas para valores próximos de zero sugere que, a partir desse intervalo, o efeito residual tende a não se manifestar

visualmente nas plantas. Esses resultados indicam que, embora os sintomas visuais de fitotoxidez deixem de ser detectáveis a partir de aproximadamente 60 DAA, a análise por regressão exponencial demonstra que o efeito residual do clomazona pode persistir por um período mais prolongado, com estimativas de dissipação de 95% do efeito inicial ocorrendo até cerca de 75 dias, dependendo da época de avaliação. O valor de X_{95} foi obtido a partir da resolução da equação exponencial ajustada à fitotoxidez ($y = a \cdot e^{bx}$). Esse critério permite estimar o intervalo em que o efeito fitotóxico visual do herbicida é reduzido a níveis mínimos, sendo interpretado como uma medida operacional da dissipação da injúria observável sem implicar necessariamente na completa ausência de atividade biológica do clomazona no solo. Estudos com a dinâmica do clomazona têm demonstrado que a molécula tem capacidade de permanecer ativa no solo por semanas a meses, dependendo das condições climáticas, tipo de solo e da dose aplicada. (Van Scoy; Tjeerdema, 2014; Nalini *et al.*, 2015).

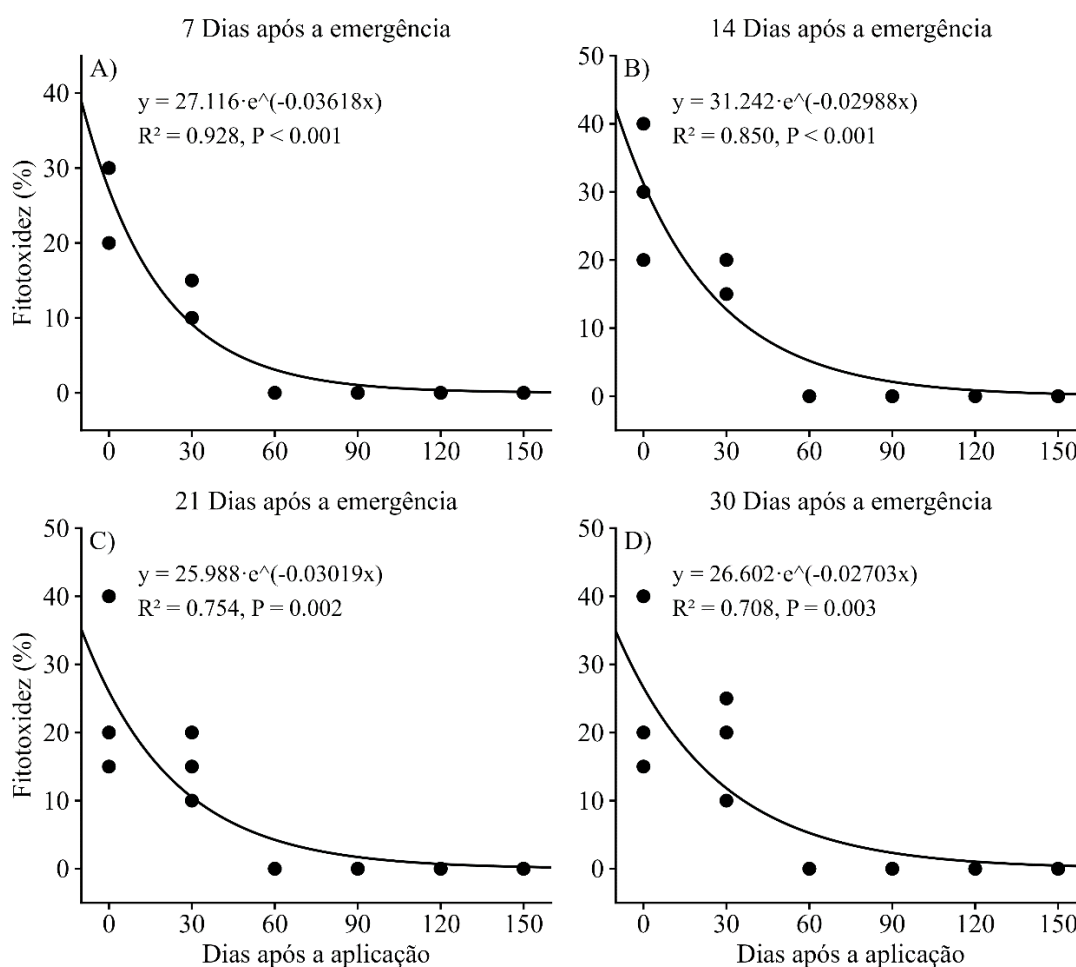


Figura 2 - Fitotoxidez em plantas de alho causada por clomazona, avaliada aos 7 (A), 14 (B), 21 (C) e 30 (D) dias após a emergência (DAE), em diferentes épocas: 0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após a aplicação (DAA).

Em contraste com o alho, a cultura da cebola apresentou maior sensibilidade ao efeito residual do clomazona, conforme evidenciado pelas variáveis estande de plantas, altura e produtividade (Tabela 2). No tratamento com plantio realizado no mesmo dia da aplicação (0 DAA), observaram-se reduções significativas nessas variáveis em relação à testemunha, indicando que a elevada disponibilidade do herbicida no solo comprometeu inicialmente a emergência e o estabelecimento das plantas, refletindo posteriormente no crescimento vegetativo e no rendimento final da cultura.

A redução no estande indica impacto direto sobre a emergência e sobrevivência inicial, enquanto as diminuições em altura e produtividade evidenciam a continuidade do efeito residual ao longo do desenvolvimento da cultura. Esse encadeamento sugere que o efeito do clomazona se manifesta primeiramente no estabelecimento, com consequências subsequentes sobre o crescimento e o rendimento.

Quando o plantio ocorreu 30 dias após a aplicação, ainda foram observadas reduções significativas na altura de plantas e no estande, bem como diminuição expressiva da produtividade em relação à testemunha, evidenciando que esse intervalo não foi suficiente para evitar prejuízos agrônômicos. Mesmo com o plantio realizado aos 60 dias após a aplicação, a produtividade permaneceu estatisticamente inferior à testemunha, indicando persistência do efeito residual do herbicida sobre o rendimento da cultura.

A partir de 90 dias após a aplicação não foram detectadas diferenças significativas em nenhuma das variáveis avaliadas em relação à testemunha, sugerindo que esse intervalo é mais seguro para o plantio da cebola sob as condições do presente estudo. As reduções de produtividade observadas nos tratamentos de 0, 30 e 60 DAA reforçam a elevada sensibilidade da cultura da cebola ao clomazona, especialmente quando o intervalo entre a aplicação e o plantio é reduzido (Tabela 2).

Tabela 2 - Altura de plantas (cm), número de plantas por metro e produtividade (kg ha⁻¹) da cebola (*Allium cepa* L.) em função de diferentes períodos de tempo após a aplicação do tratamento (0, 30, 60, 90, 120 e 150 DAA) em comparação com a testemunha

Tratamentos	Altura de plantas (cm)	Número de plantas por metro	Produtividade (t ha ⁻¹)
0 DAA	6,4 *	13 *	7,4 *
30 DAA	10,3	17,7	15,7 *
60 DAA	13,2	21,7	17,1 *
90 DAA	13,3	22,5	18,4
120 DAA	12,8	22,8	20,3
150 DAA	13,1	22,3	20,5
Testemunha	11,6	21,1	21,3
C.V. (%)	12,99	10,17	10,24
Sw	0,81	0,78	0,12
F	0,67	0,47	0,10

Valores seguidos de asterisco * indicam diferença significativa em relação à testemunha, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. DAA – Dias após a aplicação. Sw – Significância do teste de Shapiro–Wilk. F – Significância do teste de O'Neill & Mathews. C.V. – coeficiente de variação.

A fitotoxidez da cebola submetida ao efeito residual do clomazona apresentou comportamento típico de decaimento exponencial em todas as épocas de avaliação (7, 14, 21 e 30 DAE) com ajustes significativos (Figura 3). Esse padrão indica que a intensidade da injúria diminui progressivamente à medida que aumenta o intervalo entre a aplicação do herbicida e o plantio, refletindo a redução gradual do efeito residual (carryover) no solo.

As estimativas de X₉₅ indicam que aproximadamente 95% da injúria visual inicial é dissipada entre 100 e 120 dias após a aplicação, dependendo da época de avaliação. Embora o teste de Dunnett tenha indicado ausência de diferenças estatísticas em relação à testemunha a partir de 90 dias após a aplicação, esse resultado não implica dissipação completa do efeito residual, mas sim que, para os parâmetros de altura, estande e produtividade foi reduzida a níveis não detectáveis estatisticamente. Porém, o efeito de fitotoxidez prolonga para maiores intervalos de tempo.

Resultados semelhantes têm sido relatados na literatura para efeitos de carryover de clomazona, nos quais a meia-vida química relativamente curta do herbicida não reflete integralmente a persistência de seus efeitos agrônômicos em culturas subsequentes, podendo ocasionar injúrias por períodos superiores a 100 dias, especialmente em solos com menor teor

de argila ou sob condições ambientais que favoreçam a menor degradação do produto, como baixa atividade microbológica e baixo teor de matéria orgânica (Nalini *et al.*, 2015; Szpyrka *et al.*, 2020).

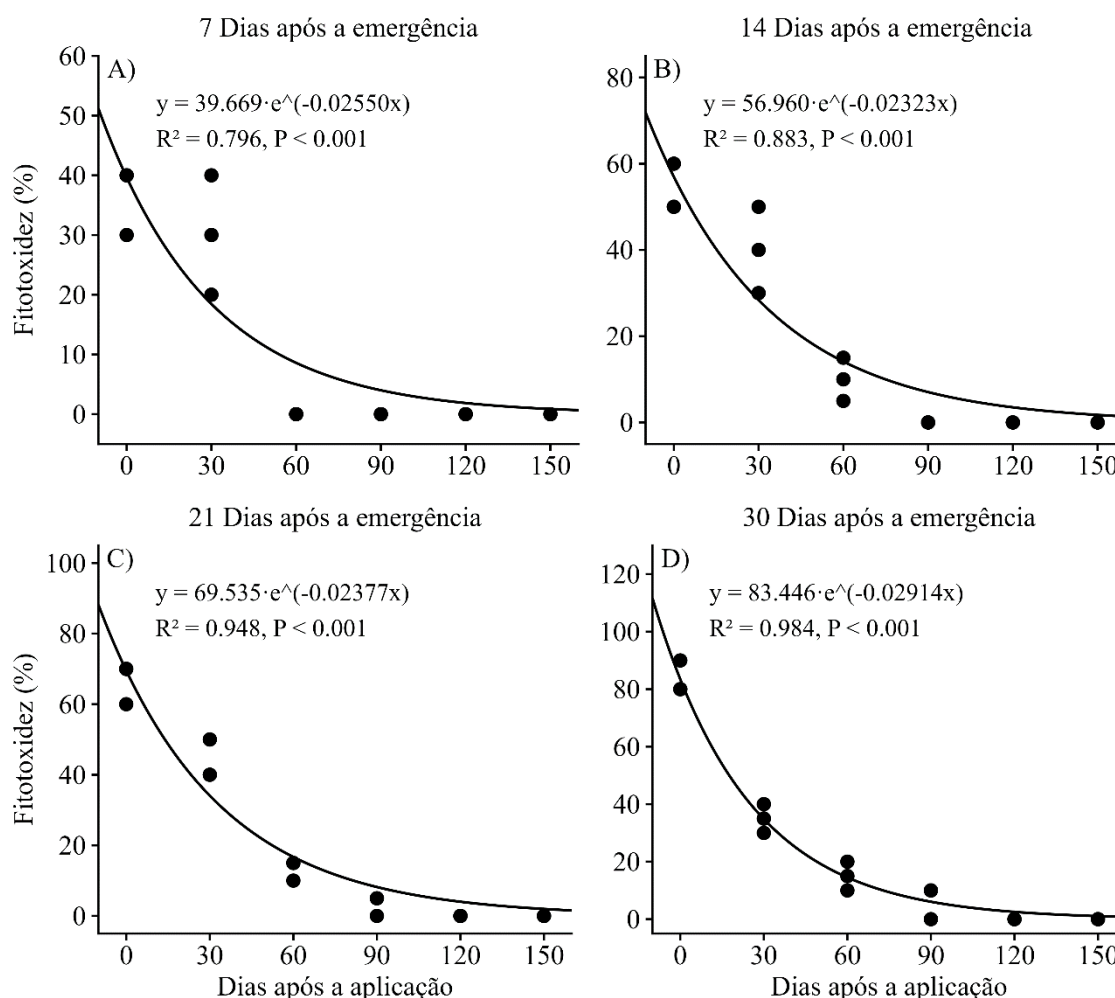


Figura 3 - Fitotoxidez (%) em plantas de cebola submetidas ao efeito residual de clomazona, avaliada aos 7 (A), 14 (B), 21 (C) e 30 (D) dias após o plantio (DAP) em diferentes épocas: 0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após a aplicação (DAA).

De forma integrada, os resultados demonstram que a persistência do herbicida clomazona no solo é suficiente para provocar efeitos residuais contrastantes entre as culturas avaliadas, evidenciando maior tolerância do alho em comparação à cebola. Para o alho, a análise estatística indicou que os efeitos residuais do herbicida foram restritos a intervalos muito curtos entre a aplicação e o plantio, com impacto significativo apenas quando o plantio ocorreu no mesmo dia da aplicação, não sendo observadas diferenças estatísticas em altura de plantas, estande ou produtividade nos demais períodos avaliados. Em contraste, a cebola apresentou

elevada sensibilidade ao clomazona, com sintomas de fitotoxidez e reduções produtivas persistindo por períodos mais prolongados. Essas diferenças de comportamento reforçam que a seletividade do clomazona e o risco do residual de causar injúrias não podem ser generalizados entre culturas, devendo ser interpretados de forma específica para cada espécie. Tal evidência corrobora estudos anteriores que relatam maior vulnerabilidade de culturas sensíveis e intervalos de segurança mais longos após a aplicação do clomazona, especialmente em condições edafoclimáticas que favorecem a persistência do herbicida no solo (Nalini *et al.*, 2015; Szpyrka *et al.*, 2020).

O teste de Dunnett indicou ausência de diferenças estatísticas em relação a testemunhas em intervalos inferiores aos estimados pela dissipação da fitotoxidez. Esse resultado reflete, em parte, a capacidade de recuperação das culturas ao longo do desenvolvimento.

No entanto, a aproximação da fitotoxidez a valores próximos de zero indica a redução dos sintomas visuais a níveis mínimos, sendo utilizada como referência para evidenciar quando não há mais interferência do herbicida na planta. Nesse sentido, a regressão exponencial aplicada à variável fitotoxidez permitiu descrever a redução contínua da injúria ao longo do tempo, evidenciando que o efeito do herbicida diminui gradualmente com o aumento do intervalo entre a aplicação e o plantio. Essa redução não implica necessariamente na ausência total da molécula no solo, mas sim que sua presença não resulta mais em resposta fisiológica detectável nas condições avaliadas. Dessa forma, a fitotoxidez se mostra uma variável mais sensível para a definição de intervalos de segurança em sistemas com uso de herbicidas residuais.

4 CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que a persistência do herbicida clomazona no solo promove efeitos residuais distintos entre culturas, evidenciando comportamento diferencial de tolerância entre o alho e a cebola.

Para o alho, o teste de Dunnett indicou que a produtividade não diferiu significativamente da testemunha quando o plantio foi realizado a partir de 30 dias após a aplicação do herbicida. No entanto, a análise por regressão exponencial da fitotoxidez revelou que sintomas residuais de injúria podem persistir por períodos mais prolongados, com estimativas de estabilização apenas em torno de 75 dias após a aplicação.

Para cebola, os efeitos residuais foram mais expressivos. Embora o teste de Dunnett tenha indicado ausência de diferenças significativas na produtividade em relação à testemunha a

penas a partir de 90 dias após a aplicação, os ajustes por regressão exponencial demonstraram que a fitotoxidez pode persistir por até aproximadamente 120 dias.

Considerando que, na prática agrícola, a presença de sintomas visuais de injúria é um fator determinante para a aceitação do manejo pelo produtor, recomenda-se a adoção de intervalos mínimos de segurança de aproximadamente 75 dias para o alho e de 120 dias para a cebola, nas condições de solo argiloso avaliadas neste estudo. Ressalta-se, entretanto, que esses intervalos podem variar em função da textura do solo e das condições edafoclimáticas, devendo ser ajustados conforme o ambiente de produção.

REFERÊNCIAS

- BALDUINO, B. C. G.; MANOEL, E.; QUEVEDO, L.; ESCOBAR, M.; da SILVA, R. F. **Plantas de cobertura e seus efeitos no cultivo de cebola em bases agroecológicas**. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - ENIC, 10., 2017, Dourados. **Anais [...]** Dourados: UEMS, 2018.
- DING, H.; ALI, A.; CHENG, Z. Effect of green garlic/cucumber crop rotation for 3 years on the dynamics of soil properties and cucumber yield in Chinese anthrosol. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 1, p. 362-370, 2020. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10050>
- FIGUEIREDO, Bárbara Queiroz de; SIMÕES, Amabilie Dellalibera; BRITO, Bárbara Ferreira de; FERREIRA NETO, Luis; RODRIGUES, Tayná Lima. Evidências acerca do potencial anticarcinogênico da *Allium cepa*: uma revisão integrativa de literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, p. e42411730414-e42411730414, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30414>
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. rev. e ampl. Viçosa: Editora UFV, 2013. 421 p. ISBN 978-85-7269-313-4. <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n117rc>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAO. 2023. **Crops and livestock products. FAO Statistical Databases & Data-Sets**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em 05 jun. 2025.
- GHENO, E. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. D.; CONSTANTIN, J.; TAKANO, H. K.; GEMELLI, A. Atividade residual de herbicidas aplicados ao algodão em culturas cultivadas em sucessão. **Revista Caatinga**, v. 29, p. 143-152, 2016.
- GUIMARÃES, F. A. R. **Efeito residual de herbicidas no cultivo de hortaliças**. 2017. 60 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.
- IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **Produção Agrícola Municipal – PAM 2023: alho**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/alho/br>. Acesso em: 01 jun. 2025.
- JOVANOVIĆ-RADOVANOV, K. Susceptibility of different crops to simulated clomazone carry-over and its degradation dynamics in sandy loam soil. **Agronomy**, v. 15, n. 7, p. 1538, 2025. DOI: 10.3390/agronomy15071538 <https://doi.org/10.3390/agronomy15071538>
- MAROUELLI, W. A.; MELO, W. F.; LUCINI, M. A. **Irrigação na cultura do alho**. Nosso Alho, Brasília, n. 14, p. 48-58, 2012
- MELO, C. A. D.; DIAS, R. D. C.; MENDES, K. F.; ASSIS, A. C. L. P.; REIS, M. R. D. Herbicides carryover in systems cultivated with vegetable crops. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 1, p. 67-78, 2016. <https://doi.org/10.7824/rbh.v15i1.434>

NALINI, R. RAMA P.; JANAKI, P.; BALUSAMY, M.; CHINNUSAMY, C. Persistence and residue of clomazone in soil and soybean by HPLC-DAD. **Asian Journal of Chemistry**, v. 28, n. 1, p. 51-54, 2015. DOI: 10.14233/ajchem.2016.19222 <https://doi.org/10.14233/ajchem.2016.19222>

OLIVEIRA JUNIOR, R. S. de; BIFFE, D. F.; MACHADO, F. G.; SILVA, V. F. V. Mecanismos de ação de herbicidas. *In*: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021. p. 170-240.

R Core Team. **A language and environment for statistical computing**. 3.6. Vienna: Foundation for Statistical Computing, 2019. Disponível em: <https://cran.r-project.org/bin/windows/base/old/>. Acesso em: 20 out. 2025.

RONCATTO, E.; BARROSO, A. A.; ALBRECHT, A. J.; NOVELLO, B. D.; SILVA, R. G.; BACKES, C. B. Shortening critical period of weed control at soybean by residual herbicide mixtures. **Advances in Weed Science**, v. 41, e020220075, 2023. <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2023;41:00009>

SAMMONS, R. D.; GAINES, T. A. Glyphosate resistance: state of knowledge. *Pest Management Science.*, v. 70, n. 9, p. 1367-1377, 2014. <https://doi.org/10.1002/ps.3743>

SANTOS, F. D.; MARCHESAN, E.; MACHADO, S. L. O.; AVILA, L. A.; ZANELLA, R.; GONÇALVES, F. F. Persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone em lâmina de água do arroz irrigado. **Planta Daninha**, v. 26, p. 875-881, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000400019>

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; LANNA, A. C.; REZENDE, C. C.; CRUZ, D. R. C.; FRASCA, L. L. de M.; FERREIRA, A. L.; FERREIRA, I. V. L.; DUARTE, J. R. de M.; FILIPPI, M. C. C. de. Sistema de plantio direto e rotação de culturas no Cerrado. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, e376111335568-e376111335568, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.35568>

SIMÃO, L. M.; PETERSON, D.; ROOZEBOOM, K. L.; RICE, C. W.; DU, J.; LIN, X.; LOLLATO, R. P. Crop rotation and tillage impact yield performance of soybean, sorghum, and wheat. **Agronomy Journal**, v. 115, n. 2, p. 658-673, 2023. <https://doi.org/10.1002/agj2.21237>

SZPYRKA, E.; SŁOWIK-BOROWIEC, M.; KSIAŻEK, P.; ZWOLAK, A.; PODBIELSKA, M. The difference in dissipation of clomazone and metazachlor in soil under field and laboratory conditions and their uptake by plants. **Scientific Reports**, v. 10, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60720-0>

VAN SCOY, A. R.; TJEERDEMA, R. S. Environmental fate and toxicology of clomazone. **Reviews in Environmental Contamination and Toxicology**, v. 229, p. 35-49, 2014. https://doi.org/10.1007/978-3-319-03777-6_3

VENCILL, W. K.; HATZIOS, K. K.; WILSON, H. P. Growth and physiological responses of normal, dwarf, and albino corn (*Zea mays*) to clomazone treatments. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 35, n. 1, p. 81-88, 1989. [https://doi.org/10.1016/0048-3575\(89\)90105-3](https://doi.org/10.1016/0048-3575(89)90105-3)

WŁODARCZYK, M.; SIWEK, H. Influence of formulation on mobility of clomazone in soil. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 97, p. 582-587, 2016.
<https://doi.org/10.1007/s00128-016-1903-7>