



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

MARCELA AGOSTINHO LOURENÇO

EFEITO DO GLIFOSATO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO FEIJÃO-CAUPI

FORTALEZA - CEARÁ

2025

MARCELA AGOSTINHO LOURENÇO

EFEITO DO GLIFOSATO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO FEIJÃO-CAUPI

Trabalho de conclusão de curso apresentado como exigência ao Curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof^a. Dra. Renata Fernandes de Matos.

FORTALEZA - CEARÁ

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Lourenço, Marcela Agostinho.

Efeito do glifosato no desenvolvimento inicial do feijão-caupi / Marcela Agostinho Lourenço. – 2025.
88 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências
Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2025.

Orientação: Profa. Dra. Renata Fernandes de Matos..

1. Vigna unguiculata. 2. Herbicida. 3. Planta daninha. I. Título.

CDD 630

MARCELA AGOSTINHO LOURENÇO

EFEITO DO GLIFOSATO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO FEIJÃO-CAUPI

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Agronomia do Centro
de Ciências Agrárias da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Agronomia.

Aprovada em: 26/02/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Renata Fernandes de Matos (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Ana Kelly Firmino da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antonio João de Lima Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Ana Lúcia e Marcelo.

Aos meus tios, Clesiane e Fernando.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho, em primeiro lugar, a Deus, pelo capricho na condução da minha vida, por iluminar a minha mente, e por me conceder saúde e forças para superar todos os momentos difíceis que encontrei ao longo da minha graduação.

Aos meus amados pais, Ana Lúcia e Marcelo, que, com humildade e honestidade, fizeram-me melhor. A vocês todo o meu amor e gratidão.

As minhas queridas irmãs, Rebeca, Raquel, Marina e Marília, por me ensinarem sobre o amor e companheirismo.

As minhas amadas sobrinhas Anna Laura e Nina, e ao meu amado sobrinho Pipo, obrigada pelos bons momentos de alegria e brincadeiras.

Aos meus queridos tios, Clesiane e Fernando, e a minha prima Lívia, que com muita dedicação ao longo dessa jornada, me apoiaram e me incentivaram, e por tornarem o meu sonho mais possível.

A minha orientadora prof^a. Dra. Renata Fernandes de Matos, que me auxiliou e esteve presente sempre que necessitei, obrigada pelo empenho dedicado ao meu projeto.

Aos meus queridos amigos de caminhada, Bianca, Rafael, Márcia, Valesca e Pedro, pelas boas gargalhadas, pelos abraços-terapia, pelas longas conversas sem hora marcada, pelo coração-casa que vocês me ofereceram.

Ao prof. Dr. Marcio Cleber, pelo apoio na condução do projeto. A Rayssa e ao Felipe do grupo GFRUT, pela ajuda e apoio.

Ao grupo de estudos GEFAR e a atlética legítima pelos bons momentos de convivência.

Aos participantes da banca examinadora Dra. Ana Kelly Firmino da Silva e prof. Dr. Antonio João de Lima Neto pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

“Você não pode voltar atrás e mudar o começo, mas pode começar onde está e mudar o final.” (C. S. Lewis).

RESUMO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) é uma cultura de grande relevância socioeconômica nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, destacando-se pela sua adaptação climática e elevado valor nutricional. Contudo, a presença de plantas daninhas pode prejudicar a produtividade, especialmente quando emergem simultaneamente ou antes da cultura. Para mitigar essas perdas, os herbicidas são ferramentas essenciais, com eficácia influenciada pelo estágio de desenvolvimento tanto da cultura quanto das invasoras. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do herbicida glifosato sobre o desenvolvimento inicial do feijão-caupi, considerando variáveis como emergência, crescimento vegetativo e fitotoxicidade. A pesquisa foi realizada em canteiros experimentais no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, utilizando a cultivar BRS Aracê, safra 2021. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos: testemunha (somente aplicação de água), aplicação de glifosato no dia da semeadura (0 DAS), e aplicações subsequentes aos 2, 4 e 6 dias após a semeadura (DAS). Foram analisadas as variáveis de porcentagem de emergência (%E), índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de emergência (TME), comprimento da parte aérea (CPA) e radicular (CPR), massas fresca e seca da parte aérea (MFPA e MSPA) e radicular (MFSR e MSSR). A fitotoxicidade foi mensurada por meio de uma escala visual de sintomas. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software R Studio. Os resultados mostraram que a aplicação de glifosato no momento da semeadura (0 DAS) prejudicou significativamente a germinação das sementes, com redução da %E e do IVE. O crescimento da parte aérea das plântulas foi comprometido, especialmente quando a aplicação ocorreu no quarto dia após a semeadura (4 DAS), resultando em menor comprimento e biomassa. O crescimento radicular não foi significativamente afetado. Sintomas de fitotoxicidade, como clorose, murcha e necrose, foram observados, sendo mais pronunciados nas plântulas menos desenvolvidas. Conclui-se que o glifosato tem impacto negativo no desenvolvimento inicial do feijão-caupi, com efeitos mais expressivos na emergência e no crescimento da parte aérea. A aplicação precoce do herbicida aumenta a susceptibilidade da cultura. A escala de avaliação da fitotoxicidade foi eficaz na quantificação dos danos. Os resultados destacam a necessidade de mais estudos sobre a seletividade do glifosato para essa cultura, visando otimizar o manejo de herbicidas na produção agrícola.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*; herbicida; planta daninha.

ABSTRACT

Cowpea (*Vigna unguiculata*) is of significant socio-economic importance in the North and Northeast regions of Brazil, notable for its climatic adaptation and high nutritional value. However, the interference of weeds can compromise productivity, especially when they emerge before or simultaneously with the crop. Herbicides are strategic tools to mitigate such losses, with efficacy dependent on the developmental stage of both the crop and the weeds. This study aimed to evaluate the effect of glyphosate herbicide on the early development of cowpea, focusing on emergence, vegetative growth, and phytotoxicity. The research was conducted in experimental plots at the Department of Phytotechnology, Federal University of Ceará, using the BRS Aracê cultivar, 2021 crop. A randomized block design was applied with five treatments: control (water application only), glyphosate application at sowing (0 DAS), and applications at 2, 4, and 6 days after sowing (DAS). Variables analyzed included emergence percentage (%E), emergence velocity index (IVE), mean emergence time (TME), shoot (CPA) and root (CPR) lengths, fresh and dry biomass of shoots (MFPA, MSPA) and roots (MFSR, MSSR). Phytotoxicity was assessed using a visual symptom scale. Data were analyzed using ANOVA and Tukey's test at 5% probability, using R Studio software. Results indicated that glyphosate application at sowing (0 DAS) significantly impaired seed germination, reducing %E and IVE. Shoot growth was adversely affected, particularly with the 4 DAS treatment, which resulted in shorter length and lower biomass. Root growth was not significantly affected. Phytotoxicity symptoms, such as chlorosis, necrosis, and epinasty, were observed, being more pronounced in less developed seedlings. It is concluded that glyphosate negatively impacts the early development of cowpea, particularly emergence and shoot growth. Earlier applications increase the crop's susceptibility to the herbicide. The phytotoxicity scale was effective in quantifying damage. These results emphasize the need for further studies on glyphosate selectivity for this crop to optimize herbicide management in agricultural production.

Keywords: *Vigna unguiculata*; herbicide; weed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Mapa da produção de feijão na região Nordeste (2023)	18
Figura 2	– Cultivar de feijão-caupi BRS Aracê	20
Figura 3	– Canteiros utilizados para a condução do experimento. (A) Repetições um e dois; (B) Repetições três e quatro	57
Figura 4	– Desenvolvimento das plântulas de feijão-caupi no tratamento T1 – Testemunha	69
Figura 5	– Desenvolvimento das plântulas de feijão-caupi no tratamento T2 - Aplicação 0 DAS	69
Figura 6	– Desenvolvimento das plântulas de feijão-caupi no tratamento T3 - Aplicação 2 DAS	70
Figura 7	– Desenvolvimento das plântulas de feijão-caupi no tratamento T4 - Aplicação 4 DAS	70
Figura 8	– Desenvolvimento das plântulas de feijão-caupi no tratamento T5 - Aplicação 6 DAS	71
Figura 9	– Sintoma de clorose foliar induzido pelo herbicida glifosato	72
Figura 10	– Sintoma de necrose foliar induzido pelo herbicida glifosato	72
Figura 11	– Sintoma de murcha foliar induzido pelo herbicida glifosato	73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Fitotoxicidade do glifosato no desenvolvimento inicial do feijão-caupi 68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção de feijão nos estados da região Nordeste (2023)	18
Tabela 2 – Produção de feijão nos municípios do estado do Ceará (2023)	19
Tabela 3 – Proposta de escala de fitotoxicidade para análise do efeito do glifosato no desenvolvimento inicial do feijão-caupi	60
Tabela 4 – Classificação da escala EWRC para fitotoxicidade nas plantas. Campina Grande, PB, 2006	61
Tabela 5 – Resumo da análise de variância da porcentagem de emergência (%E); índice de velocidade de emergência (IVE); tempo médio de emergência (TME); comprimento da parte aérea (CPA) e das raízes (CSR); massa de matéria fresca da parte aérea (MFPA) e das raízes (MFSR); massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSSR), avaliados em diferentes dias após semeadura (tempo)	62
Tabela 6 – Teste de média para os caracteres porcentagem de emergência (%E); índice de velocidade de emergência (IVE); tempo médio de emergência (TME); comprimento da parte aérea (CPA); comprimento do sistema radicular (CSR); massa fresca da parte aérea (MFPA); massa fresca do sistema radicular (MFSR); massa seca da parte aérea (MSPA); e massa seca do sistema radicular (MSSR), avaliados em diferentes dias após semeadura (tempo)	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Cultura do feijão-caupi	16
2.1.1	<i>Aspectos gerais</i>	16
2.1.2	<i>Características botânicas</i>	16
2.1.3	<i>Importância socioeconômica</i>	17
2.1.4	<i>Cultivar BRS Aracê</i>	19
2.1.5	<i>Plantas daninhas na cultura</i>	20
2.2	Plantas daninhas	21
2.2.1	<i>Aspectos gerais</i>	21
2.2.2	<i>Origem</i>	22
2.2.3	<i>Evolução</i>	22
2.2.4	<i>Morfologia</i>	23
2.1.5	<i>Hábito de crescimento</i>	25
2.2.6	<i>Ciclo de vida</i>	26
2.2.7	<i>Formas de reprodução</i>	27
2.2.8	<i>Formas de dispersão</i>	28
2.3	Danos ocasionados pelas plantas daninhas	28
2.3.1	<i>Tipos de danos</i>	28
2.3.2	<i>Competição por recursos do ambiente</i>	30
2.3.3	<i>Liberação de compostos alelopáticos</i>	31
2.3.4	<i>Formação do banco de sementes</i>	32
2.3.5	<i>Hospedeiras alternativas para pragas e doenças</i>	33
2.3.6	<i>Problemas para a colheita</i>	33
2.3.7	<i>Intoxicação</i>	34
2.4	Controle de plantas daninhas com uso de herbicidas	34
2.4.1	<i>Aspectos gerais</i>	34
2.4.2	<i>Origem dos herbicidas</i>	35
2.5	Classificação dos herbicidas	35
2.5.1	<i>Espectro de ação</i>	36

2.5.2	<i>Seletividade</i>	36
2.5.3	<i>Época de aplicação</i>	37
2.5.4	<i>Translocação</i>	38
2.6	Mecanismo de ação dos herbicidas	38
2.6.1	<i>Mecanismos e modo de ação</i>	39
2.6.2	<i>Inibidores de ACCase</i>	39
2.6.3	<i>Inibidores de ALS</i>	42
2.6.4	<i>Inibidores da fotossíntese</i>	43
2.6.4.1	<i>Inibidores da fotossíntese no Fotossistema II</i>	43
2.6.4.2	<i>Inibidores da fotossíntese no Fotossistema I</i>	44
2.6.5	<i>Inibidores da PROTOX</i>	45
2.6.6	<i>Inibidores da HPPD</i>	46
2.6.7	<i>Inibidores da DOXP</i>	47
2.6.8	<i>Inibidores da EPSPs</i>	48
2.6.9	<i>Inibidores da GS</i>	49
2.6.10	<i>Inibidores da DHP</i>	50
2.6.11	<i>Inibidores da divisão celular</i>	51
2.6.11.1	<i>Inibidores da formação de microtúbulos</i>	51
2.6.11.2	<i>Inibidores da formação de ácidos graxos de cadeia muito longa</i>	52
2.6.12	<i>Inibidores da síntese de celulose</i>	53
2.6.13	<i>Mimetizadores de auxinas</i>	54
2.6.14	<i>Efeitos desconhecidos</i>	55
3	OBJETIVOS	55
3.1	Objetivo geral	55
3.2	Objetivos específicos	56
4	MATERIAL E MÉTODOS	56
4.1	Material avaliado	56
4.2	Área experimental	56
4.3	Delineamento experimental	56
4.4	Tratamentos utilizados	57
4.5	Variáveis analisadas	58
4.6	Avaliação da fitotoxicidade	60
4.7	Análise estatística	61

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
5.1	Efeito do glifosato nas variáveis de desenvolvimento inicial do feijão-Caupi	61
5.2	Fitotoxicidade do glifosato em plântulas de feijão-caupi	67
6	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) apresenta grande importância socioeconômica para as regiões Norte e Nordeste do Brasil, nas quais é amplamente cultivado em virtude da sua adaptação às condições edafoclimáticas (Xavier et al., 2006). É um alimento de grande importância devido seus teores de proteínas, minerais e fibras, sendo um componente essencial na dieta das populações rurais e urbanas (Singh, 2007; Akande, 2007; Frota et al., 2008).

O feijão-caupi é cultivado em diferentes épocas do ano e sob variados sistemas de cultivo, tanto solteiro, quanto consorciado. Seu desenvolvimento pode ser afetado por diversas espécies de plantas daninhas devido aos distintos ambientes em que é cultivado (Cobucci; Di Stefano; Kluthcouski, 1999). Além disso, por se tratar de uma planta de crescimento rápido, a espécie é bastante vulnerável à competição, especialmente nas fases iniciais do seu desenvolvimento.

A cultivar BRS Aracê, desenvolvida pela Embrapa, é um exemplo de inovação para o cultivo do feijão-caupi. Caracteriza-se pela coloração verde-oliva dos grãos e vagens de cor roxa, além de apresentar um excelente teor de ferro e zinco (Freire Filho et al., 2009). A mesma pode ser cultivada tanto em sistema de sequeiro quanto irrigado, sendo uma alternativa viável para a agricultura familiar e para a produção comercial. Contudo, essa e outras cultivares podem ser severamente comprometidas pelas plantas daninhas, o que pode resultar em perdas de 15 a 97% na produtividade (William, 1973; Zollinger; Kells, 1993; Kozlowski et al., 2002; Fontes et al., 2006).

Das culturas anuais cultivadas no Brasil, provavelmente o feijão é a que tem mais elevada perda percentual com a interferência de plantas daninhas (Lamego et al., 2011). A capacidade competitiva das plantas daninhas depende do momento de sua emergência em relação ao feijoeiro, de tal forma que, quando se propicia uma germinação mais rápida da cultura e, ocorrendo, também, atraso na emergência das plantas daninhas, a competição será menor (Victoria Filho, 1994).

O controle de plantas daninhas é um dos maiores desafios na produção do feijão-caupi. O uso de herbicidas destaca-se como uma estratégia eficiente para reduzir as perdas de produtividade, especialmente, em áreas comerciais. O seu uso pode ocorrer de forma isolada ou em conjunto com outros métodos, como o preventivo, o cultural, o mecânico

e o físico, o que tende a reduzir a competição e favorecer o desenvolvimento da cultura. No entanto, para que se obtenha êxito é necessário empregar os métodos de controle no momento oportuno, antes do período crítico de competição com a cultura (Cobucci; DI Stefano; Kluthcouski, 1999).

Os herbicidas são assim considerados recursos estratégicos para aumentar a eficiência na produção agrícola (Figueroedo et al., 2007). Seus efeitos são condicionados ao estádio de desenvolvimento da cultura e das plantas daninhas (Cobucci; DI Stefano; Kluthcouski, 1999). Dessa forma, é fundamental conduzir pesquisas sobre herbicidas que possam ser aplicados de maneira segura na cultura do feijão-caupi, assim como conhecer os efeitos dos herbicidas não recomendados para a cultura, visando garantir uma produtividade satisfatória e, ao mesmo tempo, reduzir os custos para o produtor (Mancuso et al., 2016).

O glifosato, um dos herbicidas mais utilizados na agricultura, atua inibindo a enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs), essencial para a síntese dos aminoácidos aromáticos triptofano, fenilalanina e tirosina, o qual interrompe processos metabólicos fundamentais para o crescimento das plantas (Jaworski, 1972; Zablotowicz e Reddy, 2004). Esse é um herbicida sistêmico, de amplo espectro, que se transloca rapidamente das folhas para as raízes, causando a morte das plantas por meio da interrupção metabólica e inibição do crescimento. No entanto, seu uso na cultura do feijão-caupi apresenta desafios devido à falta de informações sobre a seletividade do produto (Kruse; Trezzi; Vidal, 2000).

Muitas informações sobre a utilização dos herbicidas são oriundas de culturas como o feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*) e a soja (*Glycine maxima*) (Freitas et al., 2009), as quais são estendidas para o feijão-caupi. A ausência de registros específicos no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) dificulta a adoção dessa tecnologia pelos produtores, tornando a regulamentação e as pesquisas fundamentais para viabilizar o manejo químico adequado.

Dessa forma, torna-se imprescindível a realização de pesquisas voltadas para o uso seguro e eficiente de herbicidas na cultura do feijão-caupi. Existe uma lacuna no conhecimento sobre o impacto de herbicidas como o glifosato para a espécie, havendo ainda poucos relatos na literatura, como o trabalho conduzido por Rocha Filho (2021). Nesse contexto destaca-se a necessidade de realização de novos estudos sobre o tema, sobretudo, ao considerar o efeito do herbicida sobre a germinação e o estabelecimento inicial das plântulas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura do feijão-caupi

2.1.1 Aspectos gerais

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) é uma leguminosa cultivada em áreas tropicais e subtropicais, a qual tem grande relevância para a agricultura e, junto com o arroz, se destaca como um alimento fundamental para a segurança alimentar e nutricional da população brasileira. Sua exploração fornece suporte à subsistência de pequenos agricultores em diversas regiões, sobretudo, devido ao potencial de utilização de mão de obra e geração de emprego e renda (Boukar et al., 2016).

A cultura é de origem africana e foi introduzida no Brasil na segunda metade do século XVI pelos colonizadores portugueses, no estado da Bahia (Freire Filho, 1988). Em outras regiões do país, essa espécie também pode receber outras denominações como: feijão-macassar e feijão-de-corda na região Nordeste; feijão-de-praia, feijão-da-colônia e feijão-de-estrada na região Norte; e feijão-miúdo na região Sul (Freire Filho; Cardoso; Araújo, 1983).

Os grãos apresentam adequados teores nutricionais, contendo de 23% a 25% de proteínas, 58,9 mg/kg de ferro, 41,5 mg/kg de zinco, 1107 mg/kg de cálcio, 2132 mg/kg de magnésio, 15.282 mg/kg de potássio e 5664 mg/kg de fósforo (Boukar et al., 2011). São uma ótima fonte de fibras dietéticas, com baixo teor de gordura, em torno de 2% e alto de carboidratos em torno de 62%, além de ser rico em aminoácidos, vitaminas e minerais (Andrade Júnior et al., 2002), o que possibilita sua inserção em uma dieta saudável e equilibrada.

Por apresentar grande rusticidade, a espécie conta com a capacidade de tolerar uma ampla variedade de condições, tanto de solo, quanto climáticas, o que a faz suportar restrições nutricionais, deficiências hídricas e temperaturas elevadas. Dessa forma, é comum observar o seu cultivo em regiões secas (Boukar et al., 2016), o que a destaca como uma espécie amplamente cultivada na região Nordeste do Brasil.

2.1.2 Características botânicas

O feijão-caupi é uma espécie que foi inicialmente retratada por Linnaeus como *Dolichos unguiculatus* L., em 1753, sendo posteriormente classificada por Walpers como

Vigna unguiculata (L.) Walp (Pasquet, 1998). Botanicamente é descrita como uma dicotiledônea pertencente ao reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseolae, subtribo Phaseolineae, gênero Vigna, subgênero Vigna, secção catyang e espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp (Chase et al., 2016).

Como características morfológicas, apresenta raiz pivotante, com uma raiz principal e raízes laterais; caule do tipo herbáceo, ramificado, com crescimento determinado ou indeterminado; folhas trifoliadas, com folíolo terminal maior; flores hermafroditas, completas e com coloração branca, amarela ou violeta; e fruto do tipo legume. O ciclo da cultura varia de precoce a tardio, com colheitas que podem ocorrer de 60 a 90 dias (Embrapa, 2017).

2.1.3 Importância socioeconômica

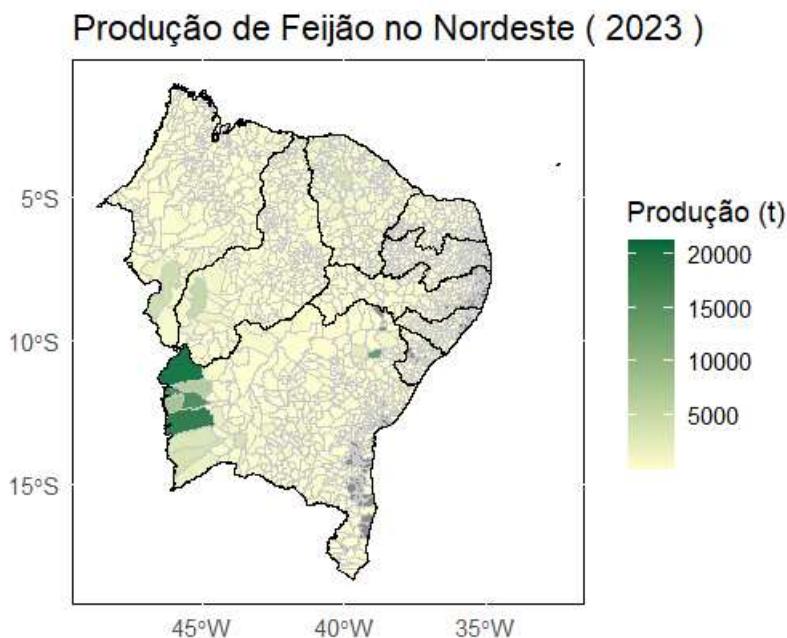
Mundialmente, a África é o continente que mais produz feijão-caupi, respondendo por cerca de 55% de toda a produção desse grão. A Nigéria se destaca como o maior produtor mundial (45%), seguida pelo Níger (15%), Brasil (12%) e Burkina Faso (5%) (Boukar et al., 2016).

No Brasil, o feijão-caupi é o segundo tipo de feijão mais cultivado. Para a safra 2024/2025, obteve-se uma produção de 3.401 mil toneladas, o que representou 4,9% de aumento na produção em comparação com a safra anterior. O cultivo se deu em uma área aproximada de 2.908 mil hectares, obtendo-se uma produtividade média de 1.170 kg ha⁻¹ (CONAB, 2025).

Na região Nordeste a produção tradicionalmente centraliza-se nas áreas semiáridas, nas quais, devido a imprevisibilidade das chuvas e as altas temperaturas, não se observa uma produtividade satisfatória (Freire Filho et al., 2011). Nessa região, a quantidade total de feijão produzida em 2023 foi correspondente a 404580 toneladas, distribuída em 1648 municípios, o que representou 91,86% destes (Figura 1) (IBGE, 2025).

Para essa safra, alguns estados se destacaram como os maiores produtores de feijão na região Nordeste, como pode ser observado para Bahia (174.572 t), Ceará (68.044 t), Pernambuco (48.173 t) e Piauí (44.517 t) (Tabela 1). Esses também foram os estados que apresentaram as maiores áreas plantadas, o que indica suas contribuições para a exploração do grão na região (IBGE, 2025).

Figura 1 - Mapa da produção de feijão na região Nordeste (2023).



Fonte: SIDRA, 2025.

Tabela 1 - Produção de feijão nos estados da região Nordeste (2023).

Estado	Produção total (t)	Área plantada total (ha)
BA	174.572	346.575
CE	68.044	354.306
PE	48.173	180.105
PI	44.517	189.050
MA	26.474	45.607
PB	16.544	82.121
AL	13.624	29.898
RN	10.894	45.425
SE	1.738	3.130

Fonte: IBGE, 2025.

Para o estado do Ceará, nessa mesma safra o município de Santa Quitéria se destacou como o maior produtor estadual de feijão, expressando valores de produção em torno de 4.000 t, em uma área plantada de 10.000 ha. O mesmo foi seguido pelo município de Mauriti, com produção de 2.747 t de feijão, em uma área de 3.830 ha; e pelo município de Ocara, com produção de 2.066 t de feijão, em uma área de 9.250 ha (Tabela 2) (IBGE, 2025).

Tabela 2 - Produção de feijão nos municípios do estado do Ceará (2023).

Município	Produção (t)	Área Plantada (ha)
Santa Quitéria	4000	10000
Mauriti	2747	3830
Ocara	2066	9250
Tamboril	1785	8500
Granja	1452	3800
Independência	1415	5070
Canindé	1320	11000
Boa Viagem	1224	6000
Ipu	1157	4003
Paraipaba	1087	3007

Fonte: IBGE, 2025.

2.1.4 Cultivar BRS Aracê

A cultivar BRS Aracê é uma cultivar de feijão-caupi com adequação ao bioma Caatinga, pertencente ao grupo comercial cores, subclasse verde. Apresenta porte semiprostrado, ciclo de maturação de 70 a 75 dias, tamanho de grãos classificado como médio-grande (23 g/100 grãos), sementes de coloração verde-oliva e excelentes teores de ferro e zinco, contando com uma produtividade média de 1.246 kg/ha em condições de sequeiro (EMBRAPA, 2019).

Figura 2 - Cultivar de feijão-caupi BRS Aracê.



Fonte: RIBEIRO, Maria Eugênia, 2025.

A cultivar BRS Aracê foi desenvolvida a partir de um trabalho conjunto entre pesquisadores da Embrapa Meio-Norte e profissionais das áreas da Agronomia e da Saúde, o que se deu com o objetivo de combater a fome nas regiões menos desenvolvidas. O projeto visou a biofortificação mediante o desenvolvimento de cultivares mais nutritivas pelo melhoramento genético convencional, possibilitando que famílias carentes melhorem sua nutrição e saúde de uma maneira natural e sustentável (BioFORT, 2024).

2.1.5 *Plantas daninhas na cultura*

A cultura do feijão-caupi sofre interferência direta ocasionada pelas plantas daninhas, as quais, quando não controladas, podem reduzir significativamente o rendimento dos grãos devido a competição por recursos como água, luz e nutrientes (Matos et al., 1991; Freitas et al., 2009). De acordo com as características da cultura, da comunidade infestante e do ambiente, diferentes perdas podem ser observadas para a espécie, as quais podem comprometer cerca de 67% da produtividade (Salgado et al., 2017).

A espécie apresenta baixa capacidade competitiva com as plantas daninhas devido ao pouco sombreamento inicial, o que reflete em prejuízos para o crescimento, colheita e produção da cultura (Nicolai, 2014). A maior competição é observada desde a emergência até cerca de 36 dias de desenvolvimento, período em que as plantas daninhas disputam mais intensamente os recursos e que devem ser implementados os métodos de controle (Matos et al., 1991)

O controle dessas espécies resulta em grandes dispêndios financeiros para os produtores, pois, na maioria das vezes, ocorre com o uso de herbicidas devido ao baixo custo para a aplicação e ao amplo espectro de ação. A aplicação pode ocorrer em pré-plantio (PP), pré-plantio incorporado (PPI), pré-emergência (PRE) ou pós-emergência (POS), o que possibilita a adoção de diferentes estratégias (Cobucci et al., 1999).

A aplicação de herbicidas na cultura do feijão-caupi na maioria das vezes ocorre com base em informações direcionadas para as culturas do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*) e da soja (*Glycine maxima*) (Freitas et al., 2009). Dessa forma identifica-se a ausência de produtos registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) que possibilitem uma recomendação mais direcionada e que forneçam informações sobre características como espectro de ação e seletividade (Silva & Albertino, 2009).

2.2 Plantas daninhas

2.2.1 Aspectos gerais

As plantas daninhas podem ser compreendidas como toda e qualquer planta que ocorre onde não é desejada (Brighenti; Oliveira, 2011). Essas apresentam características danosas às atividades agrícolas, ocasionando perdas na produção devido à alta capacidade de competição pelos recursos do ambiente (Pitelli, 2015), o que pode resultar em perdas na ordem de 30% a 40% para muitas espécies (Lorenzi, 2000).

Além do termo planta daninha, outras denominações são utilizadas para se referir a essas espécies, como planta invasora, que designa plantas silvestres (origem não endêmica) (Pitelli, 2015), e mato ou inço, que considera sua indesejabilidade em relação à atividade humana (Harlan; De Wet, 1965). Contudo, “Em um conceito mais amplo, uma planta só pode ser considerada daninha se estiver, direta ou indiretamente, prejudicando determinada atividade humana” (Silva e Silva, 2007, p.18),

Segundo Silva e Silva (2007), quando uma determinada espécie interfere no desenvolvimento de outra, a mesma pode ser considerada daninha, mesmo que seja uma planta de cultivo, como por exemplo, plantas de soja que germinam em uma plantação de milho. Fora do contexto agrícola, plantas daninhas também são observadas, seja em rodovias, ferrovias e hidrovias, aumentando os riscos de acidentes; ou em ambientes aquáticos, comprometendo a integridade e a geração de energia (Pitelli, 2015).

2.2.2 Origem

As plantas daninhas só passaram a ser assim consideradas quando os seres humanos começaram a praticar a agricultura. Segundo Silva e Silva (2007), essas espécies existem desde que o homem deixou de ser nômade, ou seja, quando passou a plantar vegetais e a criar animais nas proximidades de suas moradias. A partir desse momento passaram a classificar as plantas em duas categorias: as desejáveis (cultivadas intencionalmente para alimento ou outros usos) e as indesejáveis (que cresciam espontaneamente e competiam com as plantas cultivadas).

As plantas daninhas se desenvolvem principalmente em ambientes modificados pelo ser humano. Isso acontece porque as atividades agrícolas como arar a terra, irrigar e fertilizar o solo criam condições ideais, não só para as plantas cultivadas, mas também para as consideradas daninhas. Dessa forma, os ambientes ideais para o desenvolvimento das culturas agrícolas são também propícios para as plantas daninhas (Rossetto; Santiago, 2005), o que leva a inferir que o homem, provavelmente, foi o principal responsável pela evolução tanto das plantas daninhas como das plantas cultivadas (Lorenzi, 2008).

Baker (1974) propôs três teorias para descrever a influência do homem na evolução dessas espécies: I. As espécies selvagens adaptaram-se e foram selecionadas; II. Híbridações ocorreram entre espécies selvagens e raças cultivadas de espécies domesticadas; e III. Espécies foram abandonadas no seu processo de domesticação por não terem valor reconhecido. Atualmente sabe-se que tanto as plantas daninhas, como as cultivadas, apresentaram uma coevolução, o que resultou no atual cenário agrícola (Almeida e Ferrão, 2022).

2.2.3 Evolução

As plantas daninhas adquiriram, durante o seu processo evolutivo, a capacidade de ocupar áreas onde a vegetação natural foi eliminada, tanto pela ação do homem quanto por intempéries (Beltrão; Melhorança, 1998). Pitelli (2015), relata que as plantas daninhas são consideradas pioneiras, ou seja, evolutivamente adaptadas para a ocupação de áreas onde, por algum motivo, a vegetação original foi intensamente alterada, ocorrendo grande disponibilidade de habitats ao crescimento vegetal.

De acordo com Carvalho (2013), a evolução das plantas daninhas está intrinsecamente ligada ao ser humano, especificamente, ao desenvolvimento das atividades

agrícolas. Ainda segundo o autor, com o advento da agricultura, o ser humano passou a fornecer condições ideais ao desenvolvimento dessas espécies, exercendo forte pressão de seleção, o que as levou a adquirir características adaptativas.

Segundo Baker (1974), como características dessas espécies podem ser citadas: (i) elevada produção de diásporos; (ii) capacidade de produção de diásporos em ampla faixa de condições ambientais, sendo esses dotados de (iia) adaptações para disseminação em curta e longa distância, (iib) mecanismos de dormência diversos e complexos, (iic) elevada longevidade, (iid) desuniformidade no processo germinativo e (iie) capacidade de germinação em muitos ambientes; (iii) capacidade de produção contínua de diásporos pelo maior tempo que as condições permitirem; (iv) desuniformidade nos processos de florescimento, frutificação e brotação de gemas em tubérculos, bulbos ou rizomas; (v) rápido crescimento vegetativo e florescimento precoce; (vi) produção de estruturas reprodutivas diversas; (vii) autocompatibilidade, não sendo completamente autógamas ou apomíticas; (viii) utilização de agentes de polinização inespecíficos, quando alógamas; (ix) utilização de mecanismos especiais de sobrevivência como a alelopatia e o hábito trepador; (x) vigorosa reprodução vegetativa ou regeneração de fragmentos; e (xi) fragilidade na região do colo, de modo a não poder ser arrancada e desligada totalmente do solo.

Pitelli e Pavani (2004) indicam que a reprodução e a dispersão das plantas daninhas foram cruciais para a sua evolução e perpetuação no ambiente. A reprodução envolve a capacidade de produção de um grande número de propágulos, sejam sementes ou partes vegetativas, e a dispersão pode ocorrer tanto próximo quanto distante da planta-mãe, com o auxílio de diferentes agentes de dispersão, de forma que essas características combinadas permitem uma alta adaptabilidade e sucesso reprodutivo em diversos ambientes (Carvalho, 2011).

Somado a isso, as espécies daninhas contam com aprimorados mecanismos de dormência, a qual, sob o ponto de vista evolutivo, é uma característica adaptativa que assegura a sobrevivência das espécies nos diferentes ecossistemas, contribuindo para a sua perpetuação no cultivo agrícola. A presença da dormência em muitas espécies daninhas tem dificultado o seu manejo e erradicação, culminando em inúmeros prejuízos econômicos para o setor agrícola (Vivian et al., 2008).

2.2.4 Morfologia

Para compreender a morfologia das plantas daninhas é necessário considerar que:

Uma planta daninha, aparentemente, não difere de uma planta cultivada. Tomemos como exemplos duas espécies bem conhecidas: o picão-preto (*Bidens pilosa*) e a soja (*Glycine max*), ambas são plantas que se originam de sementes, germinam, crescem, florescem, frutificam, produzem sementes e morrem (Fontes *et al.*, 2003, p. 9).

De acordo com a morfologia foliar (largura das folhas), as plantas daninhas são divididas em dois grupos: as de folhas estreitas e as de folhas largas (Lorenzi, 2006). Segundo Almeida e Ferrão (2022), existem dois sistemas de classificação das plantas daninhas, o morfológico e o filogenético, sendo o morfológico o mais utilizado, o qual baseia-se na morfologia vegetal (sistemas de Engler-Wettstein e Cronquist).

Esse sistema propôs duas grandes classes para a distinção das plantas daninhas: Liliopsida (monocotiledôneas) e Magnoliopsida (eudicotiledôneas). Notadamente, as plantas daninhas de maior importância para a agricultura pertencem a essas classes, como as pertencentes às famílias Poaceae e Cyperaceae (monocotiledôneas) e as famílias Amaranthaceae e Asteraceae (eudicotiledôneas) (Barroso; Murata, 2021).

Nas monocotiledôneas (angiospermas com um único cotilédone) após a emissão da radícula surge o coleóptilo (capa protetora do epicótilo) e, posteriormente, formam-se as raízes adventícias na região do colo ou coleto, as quais podem crescer simultaneamente à radícula, formando um sistema radicular fasciculado (Almeida; Almeida, 2014). As folhas possuem bainha, lígula e lâmina, sendo a bainha um órgão alongado em forma de cartucho, que surge no nó e cobre o entrenó, podendo ser maior ou menor que este (Fontaneli, 2009). O colmo é comumente cilíndrico para a maioria das espécies, oco e constituído de nós e entrenós, tendo cada nó sua folha correspondente. A lâmina foliar é linear e paralelinérvea, com pecíolo dilatado que desempenha a função de folha. A inflorescência é do tipo espigueta, que pode ser formada por 1 a 50 flores, podendo algumas não ser funcionais (Fontaneli, 2009). E o fruto é uma cariopse (semente soldada ao pericarpo, também chamada de grão) (Longhi-Wagner, 2001).

Nas eudicotiledôneas, a germinação torna-se visível quando a radícula (raiz primordial do eixo embrionário) emerge e se desenvolve em raiz primária, fixando a planta ao substrato (Almeida; Almeida, 2014). Facilmente é evidenciado o início do desenvolvimento do eixo hipocótilo radícula, seguido pelo epicótilo, que corresponde ao meristema apical caulinar do embrião, localizado acima dos cotilédones, a partir do qual surge a plâmula (caule e folhas primárias). As raízes são pivotante ou axial, com eixo principal alongado (Schultz, 1968). O caule pode apresentar formas variadas, seja herbáceo ou lenhoso, cilíndrico ou

angulado (Fontaneli, 2009). As folhas são formadas por estípula (que pode ser soldada ao pecíolo ou conter glândulas), pecíolo (parte que conecta a lâmina ao caule), ráquis (eixo que sustenta os folíolos) e a lâmina composta por folíolos, sendo o pecíolo geralmente bem desenvolvido e com formato semelhante a um caule (Fontaneli, 2009). As folhas possuem uma nervura central contínua, com pecíolo de onde surgem as ramificações (reticulinérvias ou peninérvias). As sementes apresentam dois cotilédones na sua estrutura.

2.2.5 Hábito de crescimento

Com relação ao hábito de crescimento das plantas daninhas, uma grande variedade de tipos pode ser observada. Segundo Carvalho (2013), nesse grupo de plantas podem ser observadas espécies herbáceas, arbustivas e subarbustivas, arbóreas, trepadeiras e parasitas, o que revela o quanto as plantas daninhas se adaptaram em termos de crescimento.

As plantas daninhas herbáceas apresentam pequeno porte, são eretas ou prostradas e apresentam caules ou colmos não lignificados. As plantas subarbustivas e arbustivas apresentam porte médio (até 3 m), contando as subarbustivas com caule lignificado e ramificado desde a base (Almeida e Ferrão, 2022); e as arbustivas com ramificações bem definidas acima da base do caule (Silva; Silva, 2007). E as arbóreas apresentam alturas superiores e caules bastante lignificados (Carvalho, 2013).

As plantas daninhas trepadeiras desenvolvem-se sobre outras plantas, utilizando-as como suporte para o crescimento. Conforme Carvalho (2013, p. 37) “essas plantas podem ser divididas em: volúveis, que sobem por enrolamento, como a corda-de-viola (*Ipomoea* spp.); e cirríferas, que prendem-se por meio de gavinhas, como o melão-de-são-caetano (*Momordica charantia*)”.

Já as plantas daninhas parasitas utilizam-se dos fotoassimilados das plantas hospedeiras, sendo divididas em parasitas da parte aérea e parasitas do sistema radicular (Carvalho, 2013). Em relação a essas é necessário destacar que:

As plantas parasitas da parte aérea podem ser classificadas em holoparasitas (não contém clorofila e vivem exclusivamente do parasitismo, como o cipó-chumbo - *Cuscuta racemosa*) e hemiparasitas (contém clorofila, fazem fotossíntese, mas parasitam o hospedeiro, como a erva-de-passarinho - *Struthanthus* spp.). As parasitas do sistema radicular não apresentam impactos significativos para o Brasil, onde são observadas a erva-de-bruxa (*Striga* spp.) e a orobanche (*Orobanche* spp.) (Carvalho, 2013, p. 37).

As plantas daninhas parasitas podem ainda ser classificadas em hemiepífitas ou epífitas. As hemiepífitas iniciam seu desenvolvimento como trepadeiras e, posteriormente, suas raízes alcançam o solo; enquanto as epífitas crescem sobre outras plantas, afastadas do solo, mas não utilizam fotoassimilados da planta hospedeira (Silva; Silva, 2007; Brightenti; Oliveira, 2011).

2.2.6 Ciclo de vida

Quanto ao ciclo de vida, as plantas daninhas podem ser classificadas em plantas monocárpicas ou policárpicas. As monocárpicas florescem e frutificam apenas uma vez, encerrando seu ciclo de vida e permanecendo no solo na forma de propágulos. Já as policárpicas apresentam diversos eventos de floração e frutificação, sendo consideradas perenes (Oliveira Jr; Constantin; Inoue, 2011).

As plantas daninhas monocárpicas dividem-se em anuais e bianuais (Oliveira Jr; Constantin e Inoue, 2011). As anuais germinam, desenvolvem, florescem, produzem sementes e morrem no período de um ano, podendo ser anuais de inverno (que germinam no outono ou inverno, crescem na primavera e produzem frutos e morrem em meio ao verão), ou anuais de verão (que germinam na primavera, crescem no verão e amadurecem e morrem no outono) (Silva; Silva, 2007).

As bianuais completam o seu ciclo entre um e dois anos. Após a germinação, apresentam dois períodos de crescimento, um no primeiro ano, o qual é mais longo, e outro no segundo ano, mais curto. Esses são separados por uma fase de dormência (normalmente no inverno), em função das baixas temperaturas; seguido pelo período reprodutivo (florescimento e frutificação), dispersão das sementes, senescênciā e morte (Carvalho, 2013).

As plantas daninhas perenes (ou vivazes) vivem mais de dois anos e são caracterizadas pela renovação do crescimento, ano após ano, a partir do mesmo sistema radicular, o que as faz produzir flores e frutos durante anos consecutivos (Silva; Silva, 2007). Essas são divididas em perenes simples e perenes complexas. As primeiras se reproduzem exclusivamente por sementes (buva - *Conyza bonariensis*); e as segundas se reproduzem tanto por sementes quanto por órgãos vegetativos (tiririca - *Cyperus* spp.) Carvalho (2013). Contudo, as perenes simples podem se multiplicar por propagação vegetativa, caso tenha um de seus brotos cortados ou feridos (Zimdahl, 2018).

Segundo Silva e Silva (2007), as plantas daninhas perenes podem ainda ser classificadas em perenes lenhosas, rizomatosas, estoloníferas e tuberosas. As lenhosas

apresentam caules de crescimento secundário anual, típicas de pastagens; as rizomatosas desenvolvem caule subterrâneo (rizoma) que se propaga longe da planta-mãe; as estoloníferas produzem estólons com nós que geram raízes e novas plantas; e as tuberosas se reproduzem por tubérculos.

2.2.7 *Formas de reprodução*

Assim como as demais plantas, as daninhas podem se reproduzir por meio sexuado (reprodução sexuada ou seminífera) ou assexuado (reprodução assexuada ou vegetativa) (Carvalho, 2013). A reprodução sexuada ocorre por meio da polinização e fecundação dos óvulos. Para isso, o pólen é transportado para o estigma da flor (Booth; Murphy; Swnton, 2003) e, se compatível, produz o tubo polínico, o que resulta ao final na produção das sementes (Booth; Murphy; Swanton, 2003).

As plantas daninhas com reprodução sexuada podem ser autógamas ou alógamas. As autógamas representam a maioria das espécies, as quais se autopolinizam, sendo, portanto, hermafroditas (Carvalho, 2013). Isso ocorre porque estas frequentemente são autocompatíveis, contudo, a autopolinização nem sempre é obrigatória (Barroso; Murata, 2021).

As alógamas apresentam polinização cruzada, geralmente não requerendo agentes polinizadores específicos, ou utilizando-se do vento para tornar mais rápida e fácil sua reprodução (Barroso; Murata, 2021). Os principais agentes polinizadores, e o respectivo tipo de polinização, são: vento (Anemofilia), insetos (Entomofilia), aves (Ornitofilia), água (Hidrofilia), morcegos (Quiropterofilia) e o ser humano (Antropofilia) (Carvalho, 2013).

Já a reprodução assexuada ocorre sem que haja a fusão dos gametas masculino e feminino, possibilitando a obtenção de novos indivíduos sem envolver a recombinação genética. Como resultado, os descendentes assexuados são geneticamente idênticos à planta-mãe que lhes deu origem (Booth; Murphy; Swanton, 2003).

Os dois principais tipos de reprodução assexuada são o crescimento clonal e a agamospermia. O crescimento clonal (ou reprodução vegetativa) é a geração de novas plantas potencialmente independentes por meio do crescimento vegetativo. A agamospermia é a produção de sementes sem fertilização (Booth; Murphy; Swanton, 2003), como ocorre na apomixia, de forma que o termo “apomixia” é ocasionalmente usado como sinônimo de agamospermia (Mogie, 1992).

Segundo Carvalho (2013), para as plantas daninhas destaca-se a multiplicação vegetativa mediante a utilização de estruturas como bulbos, tubérculos, rizomas e estolões. Essas estratégias de propagação não necessitam de reprodução sexual, como observado para a brotação, a qual refere-se ao crescimento a partir de gemas existentes em raízes, caules e folhas; e a fragmentação, caracterizada pelo desenvolvimento de novas plantas a partir de porções de estruturas vegetais.

2.2.8 Formas de dispersão

A dispersão das plantas daninhas possibilita a disseminação dos seus propágulos ao longo das áreas, sejam essas sementes ou estruturas vegetativas (Barroso; Murata, 2021). Para isso, as espécies contam com diferentes métodos de dispersão, os quais são compatíveis com os diferentes tipos de dissemínulos produzidos pelas espécies (Brighenti; Oliveira, 2011).

A dispersão pode ser do tipo endocoria, quando a própria planta se encarrega de fazer a disseminação, ou do tipo alocoria, quando a dispersão ocorrer com o auxílio de agentes externos, a qual é a principal forma utilizada pelas espécies daninhas (Barroso; Murata, 2021).

Como agentes externos tem-se o vento (anemocoria), importante para diásporos dotados de pelos; a água (hidrocoria), importante para estruturas reprodutivas secas e leves e/ou menos densas que a água; os animais (zoocoria), importante para o transporte de sementes, por ser um transporte do tipo mecânico; e o ser humano, para o qual há uma designação especial de (Antropocoria) (Carvalho, 2013).

A zoocoria pode ser de duas formas, endozoocoria ou epizoocoria. A endozoocoria ocorre quando as estruturas reprodutivas das plantas daninhas são carregadas internamente ao corpo do animal, após sua ingestão. E a epizoocoria é observada quando a estrutura reprodutiva é carregada externamente ao corpo do animal, a qual pode ser observada aderida aos pêlos (Carvalho, 2013).

2.3 Danos ocasionados pelas plantas daninhas

2.3.1 Tipos de danos

Os danos ocasionados pelas plantas daninhas podem ser diretos ou indiretos. Os danos diretos relacionam-se diretamente ao comprometimento do produto final a ser obtido. Esses ocorrem devido a pressões ambientais exercidas pelas plantas daninhas e resultam na redução da produtividade vegetal ou animal, na não certificação de sementes e mudas, e na menor qualidade do produto colhido (Silva; Silva, 2010).

Os danos indiretos relacionam-se ao processo de produção, os quais comprometem etapas fundamentais da condução das culturas. Esses ocorrem porque as plantas daninhas são hospedeiras para pragas e doenças, impedem a realização dos tratos culturais, ferirem os trabalhadores, causarem intoxicações nos animais, abrigarem animais peçonhentos, obstruírem equipamentos e canais de irrigação, e reduzirem a eficiência no uso da área (Concenço *et al.*, 2014).

As plantas daninhas apresentam grande potencial para ocasionar interferência sobre as plantas cultivadas. A interferência imposta pela comunidade infestante pode ser compreendida como o conjunto de ações exercidas pelas plantas daninhas, as quais limitam a produtividade e reduzem a qualidade do produto a ser colhido (Pitelli, 1985).

Ao se ter a convivência entre plantas daninhas e plantas cultivadas, diferentes períodos de interferência são observados. Silva e Silva (2007) sugeriram três terminologias para descrever esses períodos: período total de prevenção da interferência (PTPI), período anterior à interferência (PAI) e período crítico de prevenção à interferência (PCPI).

O PTPI refere-se ao período total em que plantas daninhas e plantas cultivadas convivem em uma determinada área. Esse período é observado a partir da semeadura, emergência ou transplantio, sendo o ideal que as espécies cultivadas se desenvolvam sem a presença das plantas daninhas, prevenindo a interferência na produção, tanto quantitativamente quanto qualitativamente (Brighent; Oliveira, 2011).

O PAI é observado no início do ciclo, após o plantio, no qual a convivência entre plantas daninhas e plantas cultivadas pode ocorrer sem que prejuízos sejam observados. Nesse período os recursos do ambiente são suficientes para suprir as demandas de ambas as espécies, não sendo, de fato, observada interferência (Carvalho, 2013).

O PCPI é a fase crítica para prevenir que a interferência ocorra, a qual é caracterizada pela diferença entre PTPI e PAI. Nesse período, a cultura deve ser mantida livre das plantas daninhas até que essas não possam mais interferir na produtividade (Silva; Silva, 2007), sendo necessário, para isso, a implementação dos métodos de controle para que a comunidade infestante não se instale de maneira definitiva na área (Salvador, 2006).

O conhecimento dos períodos de interferência serve assim como uma ferramenta para identificar o momento correto em que as medidas de controle devem ser adotadas. Dessa forma, as culturas poderão expressar o seu real potencial produtivo, sem que sofram os danos ocasionados pelas plantas daninhas (Silva *et al.*, 2015).

2.3.2 *Competição por recursos do ambiente*

As plantas daninhas apresentam uma vantagem natural sobre as plantas cultivadas devido à grande adaptação aos ecossistemas agrícolas, o que as possibilita adquirir os recursos que seriam destinados às plantas cultivadas. Somado a isso, as plantas cultivadas foram modificadas ao longo do tempo visando principalmente a produtividade, o que reduziu sua capacidade de competir pelos recursos do meio (Barroso; Murata, 2021).

A competição é considerada o fator biológico mais importante na redução do rendimento das culturas (Oliveira; Ferrão, 2022). Esse fato ocorre por as plantas daninhas consumirem recursos essenciais para o desenvolvimento das plantas cultivadas, sendo especializadas na competição por água, nutrientes, luz e espaço, recursos potencialmente limitantes para a produção agrícola (Gallandt; Weiner, 2015).

A competição por água ocorre devido à grande capacidade que as plantas daninhas apresentam em absorver esse recurso. Para isso contam com elevada exploração do solo pelo sistema radicular; características fisiológicas que favorecem a aquisição da água; ajustamento osmótico das raízes; e adequada magnitude de condutividade hidráulica pelas raízes (Silva; Silva, 2007). Somado a isso, em condições de déficit hídrico essas espécies conseguem desempenhar melhor a absorção do que as plantas cultivadas (Gazziero *et al.*, 2001).

A competição por nutrientes refere-se à habilidade que as plantas daninhas apresentam em absorver os nutrientes presentes no solo, limitando sua disponibilidade para as plantas cultivadas. Para isso utilizam-se de sistemas radiculares bem desenvolvidos e aprimorados processos de transporte, consumindo tanto os nutrientes que naturalmente encontram-se no solo, como os oriundos da adubação (Cury *et al.*, 2012).

A competição por luz é um fator essencial para que o processo de fotossíntese seja realizado pelas plantas daninhas, as quais apresentam arquiteturas que possibilitam um melhor aproveitamento da luz. Esse tipo de competição é influenciado pelas características da espécie, sejam elas umbrófilas ou heliófitas, e apresentem rota fotossintética C3 ou C4, ou se realizam o mecanismo ácido das crassuláceas (CAM) (Silva; Silva, 2007).

A competição por espaço pode comprometer diretamente o desenvolvimento das plantas cultivadas. Esse tipo de competição é influenciada pela taxa de crescimento das plantas daninhas e pelo tempo de emergência das plantas cultivadas (Zimdahl, 2018), o que se soma a fatores do manejo como o espaçamento das entrelinhas (Brighenti; Oliveira, 2011). Quanto mais semelhanças morfológicas e fisiológicas plantas daninhas e cultivadas apresentarem, mais similares serão as exigências em relação aos fatores de crescimento, e mais intensa será a competição (Pitelli, 1987).

2.3.3 Liberação de compostos alelopáticos

A alelopatia pode ser compreendida como qualquer efeito direto ou indireto danoso ou benéfico que uma planta exerce sobre outra pela produção de compostos químicos liberados no ambiente (Santos; Silva, 2018). Isso ocorre porque as plantas superiores desenvolveram a capacidade de sintetizar, acumular e secretar grandes variedades de metabólitos secundários, os quais são denominados de aleloquímicos (Sila; Silva, 2007).

Muitas espécies de plantas daninhas apresentam a alelopatia do tipo negativa, a qual age de forma a interferir negativamente nas plantas cultivadas, inibindo o seu desenvolvimento (Zimdahl, 2018). Dessa forma, é comum observar que em um campo de produção agrícola algumas áreas se demonstram menos produtivas do que outras, sobretudo ao se ter infestações localizadas.

Dentre os efeitos alelopáticos mais comuns podem ser citados o comprometimento da: divisão celular, síntese orgânica, interação hormonal, absorção de nutrientes, síntese de proteínas, metabolismo lipídico, abertura estomática, assimilação de CO₂, síntese de clorofila e realização da fotossíntese (Reigosa; Pedrol; González, 2006; Rezende *et al.*, 2003).

São diversas as vias de produção dos aleloquímicos, como: via do ácido chiquímico, que atua na produção de compostos fenólicos e nitrogenados; via do ácido malônico, que atua na produção de compostos fenólicos; via do ácido mevalônico, importante para a produção de terpenos; e via do ácido 3-fosglicérico, que também resulta na produção de terpenos (Carvalho, 2013).

As substâncias aleloquímicas podem ser produzidas em diversas partes da planta, como sistema radicular, parte aérea, frutos e sementes (Pitelli, 1987). E a liberação pode ocorrer por diferentes processos como exsudação, volatilização, lixiviação e decomposição, o

que indica que o aleloquímico pode ser liberado tanto pela planta viva, quanto após sua senescência (Carvalho, 2013).

2.3.4 Formação de bancos de sementes

O termo "banco de sementes" ou "reservatório de sementes" é utilizado para descrever o montante de sementes viáveis e outras estruturas de propagação presentes no solo ou nos restos vegetais (Carmona, 1992). Da mesma forma, Monquero e Christffoleti (2005) indicam que o termo banco de sementes é adotado para designar as reservas de sementes viáveis no solo, seja em profundidade ou na superfície.

Os bancos de sementes de plantas daninhas são maiores nas áreas agrícolas do que nas áreas que apresentam baixo distúrbio ambiental (Monquero; Christffoleti, 2005). A composição e a densidade estão diretamente relacionadas ao histórico da área e as práticas de manejo adotadas, o que pode favorecer, ou desfavorecer, a formação e manutenção desses (Braccini, 2001).

Thompson e Grime (1979) classificaram os bancos de sementes em dois tipos: transitório e persistente. O banco de sementes transitório é constituído por dissemínulos que se mantêm viáveis por menos de um ano. Já o banco persistente é constituído por dissemínulos que não germinam no primeiro ano, permanecendo viáveis por vários anos

A dinâmica dos bancos de sementes é determinada pelo balanço entre os processos de entrada e saída de sementes no solo (Carmona, 1992). O depósito de sementes é favorecido pela produção e disseminação das estruturas reprodutivas, seja na própria área, ou nas áreas vizinhas. Já a retirada se deve a processos que ocasionam danos às sementes, como a predação e a deterioração, ou mesmo ao processo de germinação, o qual reduz a quantidade de dissemínulos (Carvalho, 2011).

A dormência é um fator crucial para a persistência dos bancos de sementes no solo, a qual possibilita que essas estruturas permaneçam viáveis por meses ou anos, até encontrarem condições que desencadeiem os mecanismos fisiológicos da germinação (Vivian *et al.*, 2008). A dormência é um dos principais mecanismos que garante a sobrevivência e perpetuação das espécies, a qual se relaciona com a duração do ciclo e com a sua rusticidade (McIvor; Howden, 2000).

A dormência pode ser do tipo nata (primária) ou induzida (secundária), desenvolvendo-se, respectivamente, ainda na planta-mãe ou após o desprendimento dessa (Harper, 1957). De ambas as formas, a dormência distribui a germinação ao longo do tempo,

garantindo o potencial de regeneração do banco de sementes mesmo em condições ambientais adversas, como na ocorrência de perturbações contínuas para fins de cultivo (Carmona, 1992).

Segundo Carvalho (2013), os principais mecanismos de dormência primária são a impermeabilidade do tegumento à água e ao oxigênio, resistência mecânica do tegumento ao crescimento e desenvolvimento do embrião, imaturidade do embrião e dormência fisiológica de embrião. Já os mecanismos de dormência secundária relacionam-se à falta de resposta a fatores ambientais, como determinadas intensidades de luz e temperatura.

2.3.5 Hospedeiro alternativo para pragas e doenças

As plantas daninhas podem ocasionar sérios danos à produção agrícola por serem hospedeiros alternativos para pragas e doenças. Isso ocorre porque essas espécies servem como abrigo para muitos insetos e micro-organismos fitopatogênicos, contudo, não sofrem ataques significativos dos mesmos (Barroso; Murata, 2021).

São diversos os tipos de insetos, fungos, bactérias, vírus, nematoides e ácaros que atacam as culturas e se alojam nas plantas daninhas (Carvalho, 2013). Espécies de plantas daninhas como a serralha (*Sonchus oleraceus*), caruru (*Amaranthus spp.*), leiteiro (*Euphorbia heterophylla*) e guanxumas (*Sida spp*) são hospedeiras para a mosca-branca (*Bemisia tabaci*), o que revela o potencial para gerar prejuízos em culturas suscetíveis (Silva; Silva, 2007).

2.3.6 Problemas para a colheita

A presença de plantas daninhas em uma área de produção agrícola representa um dano potencial para o processo de colheita. Na cultura da batata, os tubérculos podem ser colhidos com estruturas reprodutivas de tiririca (*Cyperus spp.*); no cultivo do algodão, o produto colhido pode apresentar diásporos de picão-preto (*Bidens spp.*); e na soja, a presença da corda-de-viola (*Ipomoea spp.*) pode prejudicar a colheita ocasionando o embuchamento da máquina (Oliveira; Freitas, 2008).

Silva e Silva (2007) indicam que as sementes de determinadas espécies de plantas daninhas como o leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), o arroz-vermelho (*Oryza sativa*) e o capim-massambára (*Sorghum halepense*), quando colhidas juntas com as sementes das culturas desvalorizam a produção. Somado a isto, os prejuízos se intensificam quando a

semente colheita é replantada, disseminando as espécies daninhas na área (Zimdahl, 2018).

2.3.7 Intoxicações

Outro prejuízo ocasionado pelas plantas daninhas é a ocorrência de intoxicações devido a sua ingestão. Essa é muito comum quando as plantas daninhas ocorrem em áreas de pastagens e são diretamente ingeridas pelos animais (Silva; Silva, 2007), reduzindo a qualidade de produtos como o leite devido a presença de compostos químicos (Zimdahl, 2007).

Da mesma forma, as plantas daninhas podem ocasionar intoxicações ao ser humano. Espécies como a flor-das-almas (*Senecio brasiliensis*) e o comigo-ninguém-pode (*Dieffenbachia maculata*) geram complicações para a saúde ao serem ingeridas. Espécies como a urtiga (*Jatropha urens*) apresentam toxicidade ao entrarem em contato com a pele. E espécies como a grama-seda (*Cynodon dactylon*) podem ocasionar alergias pelo contato do pólen com as vias aéreas (Brighenti; Oliveira, 2011).

2.4 Controle de plantas daninhas com o uso de herbicidas

2.4.1 Aspectos gerais

Existem diferentes métodos para controlar as plantas daninhas, como o método preventivo, cultural, mecânico, físico, biológico e químico, os quais podem ser empregados separadamente ou em conjunto (Albrecht *et al.*, 2021). O método químico é um dos mais utilizados devido sua eficiência e rápida obtenção de resultados, o que se dá mediante a utilização de produtos químicos denominados de herbicidas (Barroso *et al.*, 2011).

Os herbicidas são compostos químicos que em contato com as espécies vegetais interferem na sua fisiologia e suprimem o seu crescimento e desenvolvimento, ocasionando o comprometimento dos tecidos e levando a planta à morte. A palavra herbicida deixa claro o efeito do produto: herbi = planta e cida = mata, o qual ao ser utilizado nas plantas daninhas possibilita o controle das mesmas (Correia, 2021).

Os herbicidas são a categoria mais abundante de pesticidas aplicados na agricultura (Dayan *et al.*, 2019). O mercado de pesticidas no Brasil tem se desenvolvido de forma acelerada, impulsionado pela expansão de novas áreas produtivas e pelo aumento da

tecificação e diminuição da dependência de mão-de-obra (Oliveira Jr, 2011), o que se soma a versatilidade de uso em áreas com as de plantio direto (Naylor, 2008).

O controle químico proporciona economias para o produtor, pois permite o controle durante todo o ciclo de cultivo, favorecendo a obtenção de maiores produtividade para as culturas (Silva; Silva, 2007). Somado a isso, um controle mais eficiente é observado nas linhas de plantio, nas quais muitas vezes outros métodos não apresentam eficiência similar (Oliveira Jr, 2011).

2.4.2 *Origem dos herbicidas*

A era química na agricultura se desenvolveu rapidamente após 1945, mas relatos são citados de muitos anos atrás. Em 1000 a.C., o poeta grego Homero escreveu que o enxofre evita pragas (Zimdahl, 2018). No primeiro século a.C., o filósofo romano Catão defendeu o uso da amurca, um resíduo aquoso gerado após o óleo ser drenado das azeitonas prensadas, o qual poderia controlar as ervas daninhas (Smith; Secoy, 1975).

Em 1821, o sulfato de cobre (vitríolo azul) foi usado pela primeira vez para o controle de ervas daninhas. Em 1855, o ácido sulfúrico foi utilizado na Alemanha para o controle seletivo das ervas daninhas em cereais e cebolas (Zimdahl, 2018). Já nos Estados Unidos, Bolley (1908) estudou o sulfato de ferro, sulfato de cobre, nitrato de cobre e arsenito de sódio para o controle de espécies de folhas largas em grãos de cereais.

Somente em 1942, Zimmerman e Hitchcock, nos EUA, descobriram o ácido 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D), herbicida a base de produtos sintetizados em laboratório (2,4-DB; 2,4-T, etc.), o que marcou o início do controle químico de plantas daninhas em escala comercial (Silva e Silva, 2007). Hamner e Tukey (1944) relataram os primeiros ensaios de campo com o 2,4- D, para controle seletivo bem-sucedido de ervas daninhas de folhas largas.

O mercado de herbicidas cresceu de maneira significativa, de forma que atualmente existem cerca de 980 produtos comerciais registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o controle de plantas daninhas. Junto ao aumento no número de produtos, cresceu também a quantidade de princípios ativos utilizados, assim como as especificações e recomendações para o uso (Rocha; Barreto; Augusti, 2022).

2.5 Classificação dos herbicidas

2.5.1 Espectro de ação

Quanto ao espectro de ação, os herbicidas podem ser classificados como graminicidas, latifolicidas ou de amplo espectro. Os graminicidas controlam, predominantemente, plantas daninhas de folhas estreitas, as quais pertencem à família Poaceae, o que pode ocorrer de forma exclusiva (clethodim, fluazifop-p-butyl, haloxyfop-methyl, etc.) ou não (s-metolachlor, trifluralin, etc.). Para esses últimos, apesar de predominar o controle de gramíneas, também apresentam eficiência no controle de algumas espécies eudicotiledóneas (Correia, 2021).

Os latifolicidas controlam, predominantemente, plantas daninhas de folhas largas (eudicotiledôneas). Esses podem ser exclusivos (bentazon, lactofen, fomesafen, entre outros), pois matam exclusivamente espécies de folhas largas, sendo, portanto, seletivos para folhas estreitas. Ou não exclusivos (atrazine, diuron, simazine, linuron, bromacil, entre outros), os quais apresentam ação sobre algumas plantas daninhas de folhas estreitas (Carvalho, 2013).

Já os herbicidas de amplo espectro realizam o controle, indistintamente, de plantas daninhas de folhas estreitas e de plantas daninhas de folhas largas, como observado para o glifosato, glufosinato de amônio, diquate, alacloro, tebutiurom, entre outros. Uma grande eficiência é observada no uso desse tipo de herbicida ao se ter comunidades infestantes compostas por plantas daninhas de variadas espécies (Carvalho, 2013).

2.5.2 Seletividade

A seletividade refere-se à capacidade que as plantas daninhas apresentam em resistir, ou não, ao contato com determinados herbicidas (Rocha; Barreto; Augusti, 2022). Essa característica é a base para o sucesso do controle químico nos sistemas de produção agrícola, sendo considerada uma medida da resposta diferencial de diversas espécies de plantas a um determinado herbicida, conhecida como tolerância (Oliveira Jr; Inoue, 2011).

Os herbicidas podem ser seletivos ou não seletivos. Os seletivos matam ou restringem severamente o crescimento das plantas daninhas sem prejudicar a espécie cultivada (Oliveira Jr, 2011). Como exemplo tem-se o 2,4-D na cana-de-açúcar; o atrazine no milho; o fomesafen no feijão; e o imazethapyr na soja (Mendes; Silva; Mielke, 2023). Nesse caso, a espécie que não sofre injúrias é considerada tolerante e a injuriada susceptível (Oliveira Jr; Inoue, 2011).

Os herbicidas não seletivos atuam sobre todas as espécies de plantas, sejam daninhas ou não. Esses normalmente são recomendados para o uso como dessecantes ou em aplicações dirigidas (Mendes; Silva; Mielke, 2023). Como exemplo tem-se o glifosato e o diquat, os quais não podem ser aplicados diretamente em nenhuma cultura após sua emergência, pois ocasionarão sua morte, com exceção das cultivares transgênicas (Correia, 2021).

Podem ser observadas três tipos de seletividade: seletividade genuína (fisiológica ou biológica), seletividade adquirida (transgenia) e seletividade topográfica (de posição). A seletividade genuína é aquela em que a planta é capaz de metabolizar o herbicida a compostos pouco tóxicos ou não tóxicos, propiciando tolerância à exposição do produto (Carvalho 2013). Sua ocorrência se dá por características morfológicas e fisiológicas relacionadas aos processos de absorção e transporte, que atuam nos efeitos consecutivos após essa entrada do herbicida na planta (Oliveira Jr; Inoue, 2011).

A seletividade adquirida refere-se às modificações genéticas nas culturas através da introdução de genes que possibilitam a tolerância a determinado herbicida (Carvalho, 2013). Com o desenvolvimento das primeiras cultivares tolerantes ao herbicida glifosato, desenvolvidas pela empresa Monsanto, surgiu a tecnologia conhecida como Roundup Ready (RR) (Albrecht; Missio, 2013). No Brasil, para as culturas de soja, milho, algodão e feijão existem 36 eventos liberados pela CTNBio, para alimentação, ração e plantio (Correia, 2021).

A seletividade topográfica depende do contato direto do herbicida com a cultura, a qual requer o controle da aplicação de produtos essencialmente tóxicos (não seletivos) no tempo e no espaço. Para isso é necessário preconizar estratégias como a aplicação do herbicida em épocas em que a cultura não esteja no campo, ou o uso de protetores na calda de pulverização, como o safener (Correia, 2021).

2.5.3 Época de aplicação

Cada herbicida deve ser aplicado em um momento específico, a fim de maximizar a eficiência do controle. Em relação a época de aplicação, esses podem ser classificados em herbicidas aplicados em: pré-plantio (PP); pré-plantio incorporado (PPI), pré-emergência (PRÉ) e pós-emergência (PÓS) (Zimdahl, 2018).

Os herbicidas aplicados em pré-plantio (PP) são administrados antes da implantação da cultura, de forma a controlar as espécies de plantas daninhas que já se encontram estabelecidas na área. Esses são largamente utilizados para a dessecação da

comunidade infestante, o que possibilita o preparo da área para o recebimento da cultura (Rocha; Barreto; Augusti, 2022).

Os herbicidas de pré-plantio incorporado (PPI) são incorporado ao solo logo após o preparo do mesmo, o que ocorre antes do plantio da cultura. Isso se faz necessário para herbicidas que apresentam grande volatilidade, baixa solubilidade ou sofrem com a fotodegradação, de forma que sua incorporação evita perdas na eficiência (Silva; Silva, 2007).

Os herbicidas de pré-emergência (PRÉ) são aplicados após a semeadura da cultura, contudo, antes que ocorra a emergência desta e da planta daninha (Oliveira Jr, 2011). Quando a planta daninha iniciar a germinação, a radícula e o caule irão absorver o herbicida (Correia, 2021). Somado a isso, é estabelecida uma atividade residual no início do ciclo, prevenindo novos fluxos de plantas daninhas e permitindo que a cultura inicie seu desenvolvimento em uma área livre de espécies daninhas (Santos *et al.*, 2012).

Os herbicidas de pós-emergência (PÓS) são aplicados após a emergência da cultura e da planta daninha (Zambolim; Zuppi; Santiago, 2003). Esses podem ser de pós-emergência em área total, realizando-se a aplicação de herbicidas seletivos; ou de pós-emergência dirigida, realizando-se a aplicação de herbicidas não seletivos nas entrelinhas ou com o uso de proteção na barra (Silva; Silva, 2007).

2.5.4 Translocação

Com relação a translocação, os herbicidas podem ser classificados como herbicidas de contato ou herbicidas sistêmicos. Os herbicidas de contato atuam próximo ao local em que foram aplicados, penetrando nas plantas e apresentando pouca ou nenhuma mobilidade (Mendes; Silva; Mielke, 2023). Esses requerem uma boa cobertura de aplicação, contando com efeito geralmente rápido e agudo (Oliveira Jr, 2011).

Os herbicidas sistêmicos se translocam nas plantas, podendo apresentar sítio de ação distante do local em que foram aplicados. Esses se movimentam pelo xilema (translocação apoplástica), floema (translocação simplástica) ou xilema e floema (translocação apossimplástica) (Correia, 2021; Mendes; Silva; Mielke, 2023). Normalmente são caracterizados pelo efeito mais demorado até se obter a morte da planta (Oliveira Jr, 2011).

2.6 Mecanismos de ação dos herbicidas

2.6.1 Mecanismo e modo de ação

Na década de 1970, com o rápido avanço no desenvolvimento dos herbicidas, ficou evidente a necessidade de um sistema para organizá-los, o que deveria ser baseado nos mecanismos de ação (Oliveira Jr, 2011). Uma vez compreendido, esse sistema permite a escolha adequada do herbicida, a adoção de estratégias de gerenciamento da resistência e o diagnóstico mais eficiente dos sintomas e danos ocasionados (Kappler; Namuth, 2004).

O mecanismo de ação do herbicida é o primeiro evento metabólico de uma sequência de eventos que culminam na manifestação final do efeito do herbicida sobre a planta. E o conjunto desses eventos, incluindo os sintomas visíveis da ação do herbicida na planta, é denominado de modo de ação (Correia, 2021).

Segundo Zimdahl (2018), o mecanismo de ação de um herbicida é a lesão bioquímica precisa (por exemplo, inibição de uma enzima específica) ou biofísica (por exemplo, inibição do fluxo de elétrons, ligação a uma proteína ou interferência na divisão celular) que cria o efeito fitotóxico inicial. É importante ressaltar que um mesmo herbicida pode influenciar vários processos metabólicos na planta, contudo, é a primeira lesão gerada que caracteriza o mecanismo de ação (Thill, 2003).

A classificação atual é proposta pelo Comitê de ação a resistência aos herbicidas (HRAC), na qual os herbicidas são agrupados em ordem alfabética conforme o seu sítio de atuação e classe química, de forma que uma única letra é utilizada para representar os variados grupos químicos que dividem um mesmo mecanismo de ação. Os mecanismos são agrupados conforme os efeitos sobre os seguintes processos metabólicos: síntese de lipídios, síntese de aminoácidos, divisão celular, biossíntese de carotenoides, fotossíntese e regulação de crescimento. Herbicidas com o mesmo modo de ação exibem assim o mesmo padrão de translocação e produzem sintomas de lesão semelhantes nas plantas (Jablonkai, 2011).

2.6.2 Inibidores da ACCase

Os herbicidas inibidores da Acetil-Coenzima A Carboxilase (ACCase) são classificados de acordo com os grupos químicos ariloxifenoxipropiônicos e ciclohexanodionas. Os ácidos ariloxifenoxipropiônicos (FOPs), como o diclofop-methel, e ciclohexanodionas (DIMs), como o sethoxydim, são os dois principais grupos químicos que atuam nesse mecanismo de ação, aos quais se juntam o grupo das fenilpirazolininas (DEN). Os

FOPs e DIMs foram introduzidos há mais de 45 anos, e o DEN foi lançado em 2006 e consiste em um único herbicida, pinoxaden (Hofer, 2006; Dayan, *et al.*, 2019).

A acetil-CoA carboxilase (ACCase) é uma enzima-chave para as vias de biossíntese de ácidos graxos. A forma plastídica da ACCase em gramíneas é inibida por essas famílias químicas de herbicidas (Dayan, *et al.*, 2019). Foi evidenciado que esses grupos químicos inibem a acetil-CoA carboxilase presente na maioria das gramíneas, as quais são sensíveis a sua ação, enquanto que as dicotiledôneas são isentas desses mecanismos (Duke, 1990).

Uma vez no solo, esses herbicidas podem ser convertidos para sua forma ácida e ser absorvidos pelas raízes das plantas e causar danos severos. Eles são frequentemente chamados de graminicidas, são aplicados foliarmente, prontamente absorvidos e translocados para os meristemas, onde são tóxicos para gramíneas e apresentam seletividade semelhante (Takano *et al.*, 2020).

As ACCase são cruciais para a biossíntese de ácidos graxos (Jablonkai, 2011). Essas catalisam a produção de malonil-CoA a partir de acetil-CoA e CO₂, uma reação que também requer a hidrólise de ATP. Os ácidos graxos são componentes imprescindíveis para a formação de membranas celulares e para o funcionamento de várias estruturas celulares. Sem essa enzima funcionando corretamente, as plantas não conseguem produzir ácidos graxos essenciais, o que prejudica sua capacidade de crescimento e desenvolvimento (Shaner, 2003).

As ACCase são encontradas no estroma dos plastídios, e sua ação é converter acetil coenzima A (acetil co-A) à malonil-coenzima-A (malonil co-A), através da adição de CO₂ (HCO₃) à acetil co-A, no primeiro passo do processo de biossíntese dos ácidos graxos (Oliveira Jr, 2011). Primeiramente, o mecanismo de ação desses grupos químicos é a inibição da enzima ACCase, responsável por catalisar a carboxilação do acetil-CoA para formar malonil usando biotina como cofator. A enzima ACCase ubíquo dependente de biotina catalisa duas reações irreversíveis que determinam o comprometimento da via da síntese de ácidos graxos (Dayan, *et al.*, 2019).

Os herbicidas inibidores da ACCase ligam-se precisamente ao sítio da enzima, bloqueando a sua atividade. A inibição resultará na interrupção da produção de ácidos graxos. A primeira etapa consiste na ligação do dióxido de carbono (CO₂) à ACCase; a segunda, na ligação da acetil-CoA à enzima; e a terceira, na transferência do CO₂ para a acetil-CoA (Harwood, 2012). Os herbicidas que inibem a ACCase atuam impedindo a segunda etapa, e como consequência, interrompem a via metabólica dos ácidos graxos.

A ACCase possui função fisiológica sobre os ácidos graxos. Esses são ácidos carboxílicos com longas cadeias alifáticas que desempenham funções essenciais como armazenamento de energia, os quais são responsáveis pela estruturação das membranas e regulação hormonal. Uma vez inibidos, as plantas não conseguem produzir novas membranas celulares, comprometendo o seu crescimento e divisão celular e resultando em falhas no seu desenvolvimento normal (Takano, *et al.*, 2020).

Os primeiros sintomas do efeito desses herbicidas são observados na região meristemática, onde a síntese de lipídeos para a formação de membranas é intensa. Em virtude da ACCase está muito ativa, sobretudo nas regiões que se encontram em divisão celular como o tecido meristemático em gemas e nós, torna-se clorótico e, depois, necrótico. Após alguns dias da aplicação, quando o tecido meristemático decai, fica aparente a disfunção das membranas (Vidal,*et al.*, 2014).

As folhas mais velhas apresentam sinais de senescência e indicam mudança de pigmento (Silva; Silva, 2007), semelhante a sintomas de deficiência de fósforo (Vidal, 1997). Segundo Vidal *et al.* (2014), as folhas mais velhas podem permanecer verdes por um período de tempo mais longo, uma vez que a cutícula já está formada no momento da aplicação. A morte das plantas é lenta, requerendo uma semana ou mais, o que ocorre devido à perda da integridade celular e ao esgotamento das reservas energéticas (Silva; Silva, 2007).

2.6.3 Inibidores de ALS

Os herbicidas inibidores da síntese de aminoácido de cadeia ramificada afetam diretamente a enzima acetolactato sintase (ALS), também conhecida como acetohidroxí ácido sintase ou (AHAS), os quais possuem atividade no cloroplasto. A inibição dessa enzima corresponde a um dos mecanismos de ação de herbicidas mais importantes em virtude do elevado número de ingredientes ativos disponíveis e de sua grande utilização (Vidal *et al.*, 2014).

Os herbicidas desse grupo estão inseridos dentro do grupo 2/B, segundo a classificação do HRAC e são divididos de acordo com os grupos químicos Imidazolinonas (ex: Imazetapir), Pirimidinil benzoatos (ex: Piritiobaque-sódico), Sulfonilureias (ex: Clorimurom-etílico), Triazolopirimidinas-tipo1 (ex: diclosulam), Triazolopirimidinas-tipo2 (ex: penoxsulam) (Rizzardi *et al.*, 2002).

O mecanismo de ação decorre da inibição das ALS, a qual é a primeira enzima na via metabólica de biossíntese dos aminoácidos alifáticos de cadeia ramificada, leucina, valina

e isoleucina (Rizzardi *et al.*, 2002). Esses aminoácidos são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A inibição interrompe a síntese proteica, que, por sua vez, interfere na síntese do DNA e no crescimento celular (Silva; Silva, 2007).

Os inibidores da ALS têm sido amplamente utilizados devido à sua alta eficiência em doses baixas, toxicidade baixa para mamíferos e amplo espectro de controle, associado a elevadas seletividade e flexibilidade de utilização (Oliveira Jr; Constantin; Inoue, 2011). Sua seletividade ocorre devido a diferença na sensibilidade da enzima ALS entre as espécies vegetais e pela capacidade de metabolização diferencial das culturas. Com relação ao espectro de ação, os grupos químicos são eficientes contra espécies de plantas daninhas de folhas largas e estreitas. E a baixa toxicidade aos mamíferos se dá por estes não possuírem a rota bioquímica afetada pelo composto (Vidal *et al.*, 2014).

A enzima é responsável por catalisar duas reações em paralelo na via da biossíntese de aminoácidos de cadeia ramificada. A primeira consiste na condensação de duas moléculas de piruvato para formar 2-acetolactato, para a biossíntese de valina e leucina (Roman *et al.*, 2007). A segunda consiste na combinação de piruvato e 2-cetobutirato, sintetizando o 2-aceto-hidroxibutirato, precursores da isoleucina (Zhou *et al.*, 2007). Essa dupla ação de síntese resultou em dois nomes para a mesma enzima: acetolactato sintase (ALS) e/ou acetohidroxi ácido sintase (AHAS) (Roman *et al.*, 2007).

Os inibidores da ALS se acoplam ao canal que dá acesso ao local de ligação dos substratos. Dessa forma, o herbicida impede indiretamente a ligação do substrato, atuando como um inibidor não competitivo, bloqueando a produção desses aminoácidos (Vidal *et al.*, 2014). Esse processo ocasiona a morte das plantas após mostrar sintomas em tecidos meristemáticos, onde ocorre principalmente a biossíntese de aminoácidos (Zhou *et al.*, 2007).

A inibição da ALS resulta em suprimentos inadequados da cadeia de aminoácidos que leva à parada do crescimento da parte aérea e ao nanismo. A interrupção da síntese proteica prejudica processos fundamentais para o desenvolvimento da planta, resultando em deficiências no crescimento, comprometimento do sistema radicular e formação inadequada de folhas e outros órgãos essenciais à sobrevivência (Vidal *et al.*, 2014).

As plantas tornam-se cloróticas, definharam e morrem no prazo de 7 a 14 dias após a aplicação (Silva; Silva, 2007). Segundo Marchi, Marchi e Guimarães (2008), essa inibição pode provocar o amarelecimento das pontas das folhas, o aparecimento de pigmentos nas folhas de eudicotiledôneas, a formação de bandas cloróticas em gramíneas, o desenvolvimento de nervuras avermelhadas e a clorose internerval nas plantas susceptíveis.

2.6.4 Inibidores da fotossíntese

2.6.4.1 Inibidores da fotossíntese no Fotossistema II

Os herbicidas inibidores do Fotossistema II (FSII) estão subdivididos nos grupos químicos Amidas, Uracilas, Ureias, Triazinas, Triazolinonas, Triazinonas, os quais são acopladores da D1 serina 264. Já os grupos químicos Benzotiadiazinonas e as Nitrilas são inibidores da fotossíntese no fotossistema II acopladores da D1 histidina 215. O mecanismo de ação desses herbicidas decorre da inibição do transporte de elétrons no FSII (Marchi; Marchi; Guimarães, 2008).

Os inibidores do fotossistema II são divididos em três grupos, de acordo com o sítio específico de ligação. O sítio A reúne os herbicidas do grupo das Triazinas e Uracilas; o sítio B corresponde ao grupo da Feniluréia e o sítio C ao grupo Benzotiadiazoles (Marchi; Marchi; Guimarães, 2008). Herbicidas que se aderem ao sítio A e B são aplicados ao solo ou em pós-emergência, absorvidos pelas raízes ou pela parte aérea, mas são translocados apenas pelo xilema (Peterson *et al.*, 2001). Para a aplicação foliar é necessária a adição de adjuvantes a fim de aumentar a absorção, uma vez que a via principal de absorção é a radicular (Maciel *et al.*, 2002). Já os que se ligam ao sítio C são herbicidas de contato, aplicados em pós-emergência e não se translocam na planta (Silva *et al.*, 2013).

No decorrer da fotossíntese, no FS II, os fótons capturados através da clorofila são conduzidos para o centro de reação P680, gerando um elétron no estado excitado, que será transferido para a proteína D2, onde atinge um acceptor estável, a plastoquinona “Qa” (Rocha; Barreto; Augusti, 2022). Essa plastoquinona é responsável pela passagem de elétrons para outra quinona “Qb”, posicionada na proteína D1. Quando um segundo elétron é transferido para a plastoquinona Qb, a quinona reduzida torna-se protonada, formando uma plastohidroquinona (QbH₂) (Mendes; Silva; Mielke, 2023).

Os herbicidas inibidores do FS II exercem sua ação fitotóxica ligando-se a proteína D1, de forma que Qb deveria receber os elétrons da Qa, bloqueando o transporte de elétrons no fotossistema e gerando moléculas de clorofila mais carregadas energeticamente (Vidal *et al.*, 2014). A inibição do transporte de elétrons do FS II impede a conversão da energia luminosa em energia eletroquímica e resulta na produção de oxigênio triplete e singlete que induzem a peroxidação de lipídios da membrana (Fuerst; Norman, 1991).

Os herbicidas inibidores do FSII dão origem a reações em cadeia formando radicais livres como: oxigênio singlet (¹O₂), superóxido (O₂⁻), radical hidroxila (OH*) e

peróxido de hidrogênio (H_2O_2), que irão peroxidar os lipídios das membranas, produzindo novos radicais lipídicos. Esses também são capazes de oxidar outros lipídios de membranas e ocasionar a morte das plantas (Fuerst; Norman, 1991; Vidal, 1997).

Os sintomas se caracterizam por clorose, especialmente nas folhas mais jovens, devido à falta de produção de clorofila. A clorose é observada inicialmente nas nervuras das folhas, espalhando-se posteriormente entre as nervuras (Vidal *et al.*, 2014). Também são observados murchamento e necrose nas partes da planta afetadas, o que provoca a redução da fotossíntese e a incapacidade da realização de sínteses, o que ocasiona a paralisação do crescimento e posterior senescência (Vidal *et al.*, 2014).

2.6.4.2 Inibidores da fotossíntese no Fotossistema I

Os herbicidas inibidores da fotossíntese no fotossistema I (FSI) fazem parte do grupo químico dos bipiridílios, composto pelos herbicidas (diquat e paraquat). Esses herbicidas são relativamente não seletivos, usados para o controle da vegetação existente, atuando como dessecantes ao serem aplicados em pré-colheita (Marchi; Marchi; Guimarães, 2008). Os bipiridílios causam estresse fotoxidativo pelo desvio de energia fotossintética do fotossistema I. A ação específica desses herbicidas é a redução do oxigênio molecular a um radical superóxido tóxico (Zimdahl, 2018).

No FSI, os elétrons situados no complexo antena reduzem a proteína ferredoxina (Fd), e posteriormente são transferidos para ($NADP^+$), levando a síntese de sua forma reduzida, o NADPH. Ao final da fase fotoquímica, a enzima ATP sintase estimula a conversão de adenosina difosfato (ADP) em adenosina trifosfato (ATP), empregando gradiente de prótons presente entre o estroma e o lúmen dos tilacoides (Silva *et al.*, 2013).

A ação desses herbicidas provoca a inibição da transferência de elétrons e, com isso, forma os radicais livres na célula vegetal. Esses radicais produzidos são o peróxido de hidrogênio, um radical superóxido (O_2^-), um radical hidroxila (OH^-) e oxigênio singlete (O_2), os quais são potencialmente tóxicos para as membranas celulares (Zimdahl, 2018).

Esses radicais são instáveis e rapidamente sofrem a auto-oxidação, formando o peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Este composto e os superóxidos, na presença de Mg, reagem e produzem radicais hidroxil, os quais rompem os ácidos graxos insaturados, clorofilas, lipídios e proteínas na membrana celular (Rocha; Barreto; Augusti, 2022). Sucede-se a rápida degradação das membranas (peroxidação de lipídios), ocasionando o vazamento do conteúdo celular e a morte do tecido (Silva; Silva, 2007).

Os sintomas são evidenciados após o rápido branqueamento do tecido fotossintético. As plantas afetadas inicialmente parecem encharcadas de água, mas em algumas horas, ou alguns dias, elas se tornam necróticas e morrem (Zindahl, 2018). Após a aplicação desses herbicidas, na presença de luz, verifica-se severa injúria no limbo foliar (Silva; Silva, 2007).

2.6.5 Inibidores da PROTOX

Os herbicidas inibidores da protoporfirinogênio oxidase (PPO; PROTOX) pertencem aos grupos químicos Fenilpirazole (piraflufem-etílico), N-fenil-amidas (flumioxazina, saflufenacil), N-fenil-oxadiazolanas (oxadiazona), N-fenil-triazolinonas (carfentrazona-etílica e sulfentrazona), Éteres difenílicos (fomesafem, lactofem, oxifluorfem). Esses atuam bloqueando a protoporfirinogênio oxidase, enzima fundamental na biossíntese da clorofila.

Essa enzima participa da conversão de protoporfirinogênio IX em protoporfirina IX, um intermediário chave na biossíntese da clorofila. Os herbicidas inibidores dessa enzima são produtos não sistêmicos que controlam plantas daninhas de folhas largas, sendo a PROTOX encontrada em cloroplastos e mitocôndrias de células vegetais (Matzenbacher et al., 2014).

O bloqueio da PROTOX advém de dois processos diferentes e em locais distintos da célula vegetal (Rocha; Barreto; Augusti, 2022). Uma vez que não ocorre a conversão de protoporfirinogênio IX em protoporfirina IX, realiza-se o acúmulo de protoporfirinogênio IX nas células, provocando um desequilíbrio metabólico nas plantas.

A protoporfirina IX, na presença de luz e oxigênio molecular, produz, principalmente espécies reativas de oxigênio (EROs), que ocasionam a peroxidação resultando em dano molecular oxidativo, como o rápido branqueamento de pigmentos dos cloroplastos (Rocha; Barreto; Augusti, 2022; Vidal et al., 2014). Como consequência, lipídeos e proteínas são oxidados, resultando em perda da clorofila e carotenoides e no rompimento das membranas, fazendo com que as organelas desidratem e se desintegrem rapidamente (Oliveira Jr, 2011).

Os sintomas incluem encurvamento das folhas, enrugamento e bronzeamento, e necrose (Johnson et al., 1978). De acordo com Oliveira Jr (2011), doses subletais podem produzir sintomas de bronzeamento nas folhas mais novas, ao passo que a deriva de pequenas gotas causa o aparecimento de pequenas manchas brancas. Os sintomas geralmente avançam a

partir do aparecimento de manchas encharcadas de água; mudança de cor de verde para amarelo, marrom ou preto; murcha e dessecação (dentro de 24h); e clorose, geralmente após o aparecimento das lesões necróticas (Dayan; Duke, 1997).

2.6.6 Inibidores da HPPD

Os herbicidas que inibem a síntese da enzima 4-hidroxifenil-piruvato dioxigenase (HPPD) são separados nos grupos químicos Isoxazol, com um único ingrediente ativo o Isoxaflutol, e o grupo das Tricetonas, com os ingredientes ativos mesotriona e tembotriona. A molécula do herbicida isoxaflutol é fitotóxica quando convertida no metabólito diquetonitrila (Rocha; Barreto; Augusti, 2022). O mesotrione controla diversas espécies de plantas daninhas dicotiledôneas e apenas algumas gramíneas, e o tembotriona apresenta um amplo espectro, com ação sobre várias espécies de folhas largas e estreitas (Silva; Silva, 2007).

A HPPD é uma enzima essencial para a biossíntese das plastoquinonas (PQ), que é um cofator necessário para enzima fitoeno dessaturase (FDS), na síntese de carotenoides e de tocoferóis (vitamina E). A mesma funciona como inativador de EROs (espécies reativas de oxigênio), protegendo as células do estresse oxidativo. Herbicidas com esse mecanismo de ação ligam-se ao sítio ativo da HPPD, inibindo sua atividade catalítica (Grossmann; Ehrhardt, 2007).

Como resultado, ocorre o bloqueio da conversão de 4-hidroxifenil-piruvato em 2,3-dihidroxifenilalanina, na via biossintética dos carotenoides (Grossmann; Ehrhardt, 2007). A enzima FDS age na remoção de átomos de hidrogênio e elétrons das moléculas, formando dupla ligação, os quais são transferidos para PQ, principal transportador de elétrons no FSII. Esses herbicidas agem diretamente no cloroplasto das células vegetais impedindo a síntese de carotenoides e afetando diretamente a fotossíntese (Rocha; Barreto; Augusti, 2022).

Os carotenoides funcionam como protetores dos fotossistemas contra a fotooxidação. Uma vez inibidos, ocorre a degradação oxidativa da clorofila e das membranas fotossintéticas nos tecidos dos brotos (Grossmann; Ehrhardt, 2007). A inibição produz um sintoma intrínseco e inconfundível que é o branqueamento das folhas, provocado pela despigmentação ocasionada pela fotodegradação da clorofila (Corteva, 2024). Contudo, os carotenoides pré-existentes não são afetados (Marchi; Marchi; Guimarães, 2008), de forma que os tecidos formados antes do tratamento não apresentam os sintomas albinos típicos (Oliveira Jr, 2011).

2.6.7 Inibidores da DOXP

Os herbicidas inibidores da 1-desoxi-D-xululose-5-fosfato sintase (DOXP) pertencem ao grupo 13 (F4), representados pelo grupo químico Isoxazolidinona, que é representado apenas o herbicida clomazone. Esse herbicida clomazone, interfere no desenvolvimento do cloroplasto e reduz ou previne o acúmulo de pigmentos plastidiais em espécies suscetíveis (Duke; Kenyon; Paul, 1985). O mesmo transloca-se na planta via xilema, com ação sistêmica, sendo utilizados na pré-emergência e aplicados via solo para o controle de espécies eudicotiledôneas e, sobretudo, gramíneas anuais (Rocha; Barreto; Augusti, 2022).

O herbicida inibidor da DOXP age bloqueando uma etapa importante na via do metabolismo dos isoprenóides. A via que envolve a DOXP é conhecida como via do DOXP-MEP (1-desoxi-D-xululose-5-fosfato/MEP), responsável pela produção de precursores essenciais para a formação de isoprenóides. O herbicida inibe a DOXP sintase, a primeira etapa da via MEP (2-C-metil-D-eritritol 4-fosfato) (Mendes; Silva; Mielke, 2023), a qual é um importante ponto de ramificação que fornece precursores para a síntese de monoterpenos plastídicos, diterpenos, carotenoides, a cadeia de clorofilas, tocoferóis, plastoquinona, bem como os hormônios ácido abscísico e giberelinas (Corniani *et al.*, 2014).

O clomazone é metabolizado para a forma 5-ceto-clomazone pelas hemoproteínas do sistema citocromo P-450 monoxigenase, tornando-se ativa como herbicida (Ferhatoglu; Barrett, 2006). Essa enzima é o primeiro intermediário da biossíntese de carotenoides (Piruvato/gliceraldeído 3-fosfato), que catalisa a primeira etapa da via de isoprenóide cloroplástica, também conhecido como terpenoides, que incluem os carotenoides envolvidos na fotossíntese e os esteróis presentes em muitas membranas das plantas (Rocha; Barreto; Augusti, 2022).

A inibição da enzima DOXP afeta diretamente a síntese de carotenoides no plastídio, como também em outras vias, tanto no próprio plastídio, quanto no citoplasma (Ferhatoglu; Barrett, 2006; Taiz e Zeiger, 2017). Os carotenoides são pigmentos que se localizam nos cloroplastos e desempenham um papel importante na fotossíntese por aumentarem o espectro de luz do qual a energia é capturada (Marchi; Marchi; Guimarães, 2008). Além disso, os mesmos apresentam uma ação fotoprotetora importante para a clorofila e para diversas proteínas presentes no cloroplasto (Vidal *et al.*, 2014).

A perda da clorofila é resultado da sua oxidação pela luz (foto-oxidação), devido à falta de carotenoides que a protege da oxidação e, sob condições normais, a energia oriunda da forma tripleto é dissipada através dos carotenoides (Silva; Silva, 2007). Depois da clorofila

ser sintetizada e se tornar eletronicamente excitada pela absorção de fótons de luz, é transformada da forma singuleto para a forma tripleto, mais reativa (Marchi; Marchi; Guimarães, 2008).

Na ausência de carotenoides, a produção de clorofila é prejudicada, o que leva à ausência de pigmentos verdes nos novos locais de crescimento, tornando a planta clorótica. O tratamento com clomazone causa branqueamento (aparência branca, amarela ou verde-claro) em mudas de plantas, o que depende da espécie e/ou do método e dose utilizada. Com o crescimento comprometido, a planta se torna incapaz de se desenvolver, o que resulta na sua morte. (Duke; Kenyon, 1986).

2.6.8 Inibidores da EPSPS

O herbicida pertencente ao grupo químico das Glicina substituída inibe a ação da 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintase (EPSPS). Nesse grupo encontra-se apenas o herbicida glifosato como ingrediente ativo. O glifosato é um herbicida sistêmico de ação total, facilmente translocável, razão pelo qual provoca a morte do sistema radicular e de estruturas reprodutivas como rizomas, bulbos e tubérculos (Kruse; Trezzi; Vidal, 2000). A EPSPS é responsável pela biossíntese de aminoácidos aromáticos e vários metabólitos secundários aromáticos, sendo um análogo estrutural do fosfoenolpiruvato (PEP) (Achary *et al.*, 2020).

Os inibidores da EPSPS atuam de forma específica e fundamental para interromper um dos caminhos metabólicos essenciais das plantas, o caminho do ácido shikímico, que é crucial para a produção dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano, vitais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. O herbicida bloqueia a enzima EPSPS que catalisa a ligação dos compostos chiquimato 3-fosfato (S3P) e fosfoenolpiruvato (PEP), produzindo o enolpiruvilchiquimato-3-fosfato e fosfato inorgânico (Pi) (Oliveira Jr, 2011).

Essa reação ocorre em duas fases, de forma que a princípio a enzima EPSPS se liga ao S3P, formando o complexo EPSPS-S3P, e posteriormente o PEP se encaixa nesse complexo, permitindo o prosseguimento da reação, produzindo EPSP (Kruse; Trezzi; Vidal, 2000). O EPSP formado é então convertido em outros intermediários, até que o produto final, o ácido shikímico, seja gerado, o qual, por sua vez, irá originar os aminoácidos aromáticos essenciais.

O glifosato inibe a EPSPS por competição com o substrato fosfoenolpiruvato (PEP), ligando-se ao complexo EPSPS-S3P, não permitindo que a reação prossiga, impedindo

a transformação do shiquímato em corísmato (Mendes; Silva; Mielke, 2023). Com isso, a síntese de EPSP e, consequentemente, a via do ácido shikímico, é bloqueada. Com essa inibição as plantas podem apresentar sintomas de clorose, que surgem nas regiões meristemáticas ou nas folhas mais jovens, seguidos de necrose foliar de uma a três semanas após a aplicação, de acordo com a susceptibilidade da espécie (Vidal *et al.*, 2014).

A morte das plantas pode levar de 4 a 20 dias, dependendo das condições do clima, da aplicação e da planta (Giraldeli, 2020). A folhagem às vezes torna-se roxo-avermelhada em algumas espécies. Devido a deficiência dos aminoácidos essenciais, alguns fatores nas plantas são diretamente prejudicados, como a produção de proteínas, ácidos nucleicos e hormônios vegetais, resultando na interrupção do crescimento e posterior morte das plantas (Vidal *et al.*, 2014).

2.6.9 Inibidores da GS

O herbicida inibidor da glutamina sintetase (GS) pertencente ao grupo (H), representado pelo grupo químico do ácido fosfínico, o qual tem apenas o herbicida amônio-glufosinato como ingrediente ativo, um herbicida não seletivo que controla monocotiledôneas e eudicotiledôneas anuais. O impacto desse herbicida se dá porque, com exceção da assimilação do CO₂, a assimilação do nitrogênio constitui a função mais importante da célula vegetal, de forma que a glutamina sintetase é uma enzima chave na assimilação da amônia (Brunharo; Christoffoleti; Nicolai, 2014).

A GS, considerada a via de assimilação do nitrogênio, é o ponto chave da inibição dessa rota, uma vez que pode ser inibida utilizando concentrações baixas de glufosinato (Lea; Ridley, 1989). Essa é uma importante enzima na assimilação do nitrogênio presente nos estromas dos cloroplastos, na fotorrespiração e no balanço de carbono nas plantas (Brunharo; Christoffoleti; Nicolai, 2014).

A GS catalisa a formação de glutamina a partir de glutamato e amônia (NH₃), um processo fundamental para a fixação de nitrogênio e para a desintoxicação da amônia, tóxica para as células. Essa reação acontece com a transformação de uma molécula de ATP para ADP e P (Brunharo; Christoffoleti; Nicolai, 2014). O herbicida inibe a GS por competir pelos locais em que o glutamato se liga à glutamina sintetase, e, uma vez que essa ligação ocorre, a ligação se torna irreversível (Logusch *et al.*, 1991).

O bloqueio da atividade da GS gera o acúmulo rápido de altos níveis de amônia, o que leva à destruição das células e impede diretamente as reações dos fotossistemas I e II

(Oliveira Jr, 2011). Uma vez que a amônia é produzida, principalmente durante a reação relacionada ao transporte de elétrons fotossintéticos, a acumulação é maior em plantas expostas a grande incidência luminosa (Silva; Silva, 2007).

A inibição da GS provoca o acúmulo de níveis tóxicos de amônia e rápido colapso celular (Duke, 1990). O primeiro sintoma de intoxicação é o amarelecimento das folhas e de tecidos, seguido de murchamento e morte da planta, entre 7 a 14 dias (Brunharo; Christoffoleti; Nicolai, 2014). Além do rápido acúmulo de amônia, associado à destruição dos cloroplastos, ocorre a redução dos níveis da fotossíntese e da produção de aminoácidos, ocasionando a inibição da fotossíntese e a morte celular (Sauer; Wild; Rühle, 1987).

2.6.10 Inibidores da DHP

O herbicida inibidor da enzima 7,8-dihidropteroato síntese (DHP) pertencente ao grupo (I), representado pelo grupo químico dos carbamatos. Esse apresenta apenas o herbicida asulam como ingrediente ativo, o qual é um análogo da sulfanilamida, um inibidor conhecido do DHPS (Bedhomme *et al.*, 2005). No Brasil, assim como em outros países, esse herbicida é usado em pós-emergências, principalmente de gramíneas perenes, e como maturador fisiológico de culturas como a cana-de-açúcar (Rocha; Barreto; Augusti, 2022).

Esse herbicida atua impedindo a síntese de ácido fólico, um cofator essencial para a produção de nucleotídeos e, consequentemente, do DNA e RNA nas células vegetais. É um análogo do 4-aminobenzoato (PABA), um dos substratos da 7,8-di-hidropteroato sintase (DHPS), uma enzima essencial na via do ácido fólico (Bedhomme *et al.*, 2005).

A DHPS é uma enzima que catalisa a formação de dihidropteroato, um precursor essencial na via de biossíntese do ácido fólico. Na mitocôndria, a DHPS catalisa a formação de dihidropteroato a partir de hidroximetildi-hidropterina pirofosfato (HMDHP-PPi; produzido no citosol) e ácido para-aminobenzóico (PABA; produzido no cloroplasto) (Basset *et al.*, 2005). Esses precursores metabólicos são montados dentro das mitocôndrias para produzir di-hidropteroato (DHP), que é finalmente glutaminado para sintetizar folatos (Brain *et al.*, 2008).

O herbicida compete com o PABA pela ligação do sítio ativo da dihidropteroato sintase, inibindo a formação do DHP e produção de ácido fólico. A via do ácido fólico é necessária para a transferência de grupos metil na síntese de purinas, pirimidinas e alguns aminoácidos (Rocha; Barreto; Augusti, 2022).

Os sintomas podem incluir clorose de desenvolvimento lento, crescimento atrofiado de novos tecidos e lenta senescência histológica, provocando a morte devido à incapacidade de realizar processos metabólicos fundamentais (DAYAN *et al.*, 2019). A ação do asulam deve tornar-se visível somente após o esgotamento das reservas de folato, o que explica seu efeito moderadamente lento (Veerasekaran; Kirkwood; Parnell, 1981).

2.6.11 Inibidores da divisão celular

2.6.11.1 Inibidores da formação de microtúbulos

Os herbicidas inibidores da formação de microtúbulos, também conhecidos como inibidores de polimerização da tubulina, pertencem ao grupo químico das dinitroanilinas (DNAs), representado apenas pelos herbicidas pendimetalina e trifluralina. Esses são altamente voláteis e com alta sensibilidade a luz, podendo sofrer fotodegradação, o que requer a incorporação no solo, logo após a aplicação (Rocha; Barreto; Augusti, 2022), podendo ser aplicados em pré-emergência e/ou pós-emergência (Roman *et al.*, 2007).

As dinitroanilinas inibem a divisão e a elongação celular. Os microtúbulos são formados por unidades chamadas tubulina e são fundamentais para vários processos, como divisão celular. Os microtúbulos realizam o deslocamento dos cromossomos durante a anáfase, são constituintes do citoesqueleto, conferem formato tetraédrico característico às células vegetais e servem de apoio às organelas celulares (Vidal *et al.*, 2014). Sua ausência compromete o alongamento celular, principalmente nas células das extremidades das raízes e caules em crescimento (Roman *et al.*, 2007).

Na metáfase da mitose, o aparelho do fuso bipolar é composto por microtúbulos capazes de posicionar corretamente os cromossomos na região do centro da célula (Rocha; Barreto; Augusti, 2022). O fuso cromático é formado por proteínas microtubulares designadas de tubulinas. Essas são proteínas contráteis, semelhantes à actimiosina encontrada nos músculos dos animais e responsáveis pela movimentação dos cromossomos para os pólos da célula (Silva; Silva, 2007). Em seguida na anáfase, os microtúbulos são despolimerizados na região dos centros, conduzindo as cromátides separadas para as extremidades opostas da célula, permitindo que cada célula filha tenha seus próprios cromossomos após o encerramento da telofase (Rocha; Barreto; Augusti, 2022).

Os herbicidas dessa classe agem ligando-se aos microtúbulos no lugar da tubulina, principal proteína componente dos microtúbulos, impedindo a síntese da fibra. A degradação

dos túbulos continua e, consequentemente, estes ficam cada vez menores, de modo que logo não há túbulos para desagregar os cromossomos (Roman *et al.*, 2007). Com a ausência de microtúbulos nessas células em divisão, nenhum arranjo mitótico de cromossomos ocorre, em vez disso, os cromossomos se tornaram dispersos aleatoriamente (Hess; Bayer, 1974).

A falta de microtúbulos impede o crescimento celular normal, afetando especialmente o alongamento das células, o que pode levar a distorções nas folhas e em outras partes da planta, tendo como consequência o aparecimento de células multinucleadas (aberrações) (Silva; Silva, 2007). Esses herbicidas inibem assim o crescimento da radícula e a formação das raízes secundárias. A perda de microtúbulos pode provocar o intumescimento das extremidades das raízes, o que ocorre nos tecidos meristemáticos, uma vez que eles não se dividem nem conseguem se alongar (Senseman, 2007).

2.6.11.2 Inibidores da formação de ácidos graxos de cadeia muito longa

Os herbicidas inibidores da síntese de ácidos graxos de cadeia muito longa (VLCFA- Very Long Chain Fatty Acids) pertencem aos grupos químicos isoxazolina (apenas o ingrediente ativo piroxasulfona; e o grupo das α -Chloroacetamidas (ex. acetocloro, alacloro e S-metolacloro). Os ácidos graxos de cadeia muito longa são componentes cruciais para a formação de lipídios de membranas e outros processos metabólicos imprescindíveis para as plantas, de forma que esses herbicidas interferem na formação das estruturas celulares e no crescimento vegetal, controlando plântulas de muitas espécies de gramíneas anuais e algumas eudicotiledôneas antes ou logo após a emergência (Silva; Silva, 2007), sendo absorvidos pelas raízes, brotos ou cotilédones e transportados via xilema (Böger; Matthes; Schmalfuß, 2000).

A grande maioria dos VLCFAs se localizam na membrana plasmática. A biossíntese desses compostos pode ser atribuída ao retículo endoplasmático e ao aparelho de Golgi, onde a reação de catalise produz os substratos alongados de C18-acil ou C20-acil. Esse processo ocorre por dois carbonos da enzima malonil-CoA (acil-CoA elongases) (Matthes; Böger, 2002; Götz e Böger, 2004).

Uma vez que os herbicidas interrompem a via metabólica da elongação dos ácidos graxos, sua produção é cessada. Este bloqueio resulta na paralisação da divisão celular e aumento no tamanho das células, causando a inibição do crescimento da raiz e da parte aérea (Oliveira Jr, 2011). Sem a elongação dos ácidos graxos também não há formação de ceras e suberina, que são importantes para a composição da camada cerosa que reveste as plântulas e

impede a perda de água (Corteva, 2024). Além desses impactos, também afetam a síntese de lipídios, ácidos graxos, terpenos, flavonoides e proteínas (Roman *et al.*, 2005).

As sementes geralmente germinam, mas o crescimento é bloqueado, e as mudas permanecem atrofiadas e, muitas vezes, nem emergem. As primeiras folhas são malformadas e pequenas (Böger; Matthes e Schmalfuß, 2000), e, nas dicotiledôneas podem ficar encarquilhadas e apresentar encurtamento da nervura central, produzindo uma depressão acentuada (Vidal *et al.*, 2014). As plantas podem apresentar clorose, murcha e necrose, pois a membrana perde estabilidade e torna-se permeável, levando à morte da planta (Matthes; Böger, 2002).

2.6.12 Inibidores da síntese de celulose

A síntese de celulose pode ser inibida pela ação de herbicidas do grupo 29/L. Esse grupo é composto pelos herbicidas formulados a partir de compostos químicos das Alquilazinas (indaziflam) e Quinolinacarboxilatos (quincloraque). São indicados para o controle pré-emergente das plantas daninhas e pós-emergente das culturas, aplicados via solo, com jato dirigido. Esses atuam especificamente na biossíntese da celulose, a qual é um dos principais componentes das paredes celulares, possibilitam rigidez e firmeza, permitindo a manutenção da estrutura (Rocha; Barreto; Augusti, 2022).

O mecanismo de ação dos herbicidas inibidores das microfibrilas na parede celular agem de três formas. Inicialmente interfere na liberação da proteína celulase sintase, dentro da membrana plasmática, afetando a passagem coordenada entre vesículas especializadas como o complexo de Golgi e a membrana plasmática. Observa-se o bloqueio da atividade da celulose sintase, impedindo a adição de novas unidades de glicose, o que interrompe a produção ou forma uma celulose defeituosa não funcional (Rocha; Barreto; Augusti, 2022).

Na sequência, observa-se um potencial acúmulo da celulase sintase na membrana. Como as células não conseguem sintetizar celulose de forma eficiente, ocorre o acúmulo de intermediários de glicose, que não podem ser incorporados na celulose, interferindo diretamente na formação da parede celular (Rocha; Barreto; Augusti, 2022).

Por fim são observadas alterações na trajetória das proteína celulase sintase dentro da membrana plasmática, através das modificações dos microtúbulos. A ruptura da biossíntese celular e as alterações do alinhamento das microfibrilas na parede celular provoca a perda da expansão celular direcional. As células podem romper ou colapsar devido à incapacidade da

parede celular resistir à pressão interna, levando a danos estruturais nos tecidos vegetais (Tateno; Brabham; Debolt, 2016). Os primeiros sintomas incluem clorose e enrugamento das folhas, seguidos de necrose que pode afetar toda a planta (Brabham *et al.*, 2014).

2.6.13 Mimetizadores de auxina

Os herbicidas mimetizadores de auxina, também conhecidos como herbicidas hormonais, pertencem aos grupos químicos benzoato (dicamba), fenoxicarboxilatos (2,4-D), piridinacarboxilatos (picloram, triclopir e fluroxipir) e quinolinacarboxilato (quinclorac). Esses herbicidas controlam plantas daninhas eudicotiledôneas herbáceas e semi-arbustivas, em torno de 20 a 40 dias após a emergência quando (Barreto Filho; Silva, 2011).

O mecanismo de ação desses herbicidas baseia-se na imitação do efeito do hormônio auxina (ácido indol-3-acético - IAA), natural nas plantas. Esses herbicidas são mais persistentes e mais ativos que as auxinas naturais, sendo translocados pelos vasos do xilema e floema, e possuem baixa toxicidade para mamíferos (Oliveira Jr, 2011).

A atuação ocorre nos aceptores de auxinas naturais, as quais regulam o crescimento da planta modulando a expressão gênica que leva a mudanças na divisão celular, alongamento e diferenciação (Woodward; Bartel, 2005). Ao se ligarem aos receptores, induzem a resposta hormonal da auxina em locais onde não deveria haver sua ação, ou manifestam-se em níveis excessivos, ocasionando a morte das plantas devido o desregulamento dos processos fisiológicos celulares (Grossman, 2010).

O mecanismo de ação desses herbicidas ocorre em três fases: a primeira é a fase de estimulação; a segunda é a fase de inibição; e a terceira é a fase de decaimento (Grossmann, 2010). Na fase de ativação, as moléculas do herbicida são percebidas pelos receptores específicos das auxinas TIR1/AFB (Rocha; Barreto; Augusti, 2022). Esses receptores codificam a auxina para ser degradada ou ativá-las por um grupo maior de proteínas, uma espécie de marcador de auxina (Grossman, 2010). Nessa fase ocorre a ativação de processos metabólicos como a produção de etileno e o acúmulo de ácido abscísico na folha, revelando sintomas como a epinastia foliar (Rubert *et al.*, 2010).

Altas concentrações do herbicida afetam o complexo de degradação e transcrição das auxinas, levando a ocorrência de uma série de eventos bioquímicos e fisiológicos nas plantas. Um desses eventos é a mobilização do Ca^{+2} , concentrado no citoplasma, para o vacúolo, causando a acidificação do meio mediante a liberação de H^{+} que estimula a bomba de prótons ATPase (Rocha; Barreto; Augusti, 2022). Essa acidifica a parede celular, que ativa

a síntese do etileno e do ácido abscísico (ABA) nas folhas. A diminuição do pH apoplástico quebra as pontes de hidrogênio da parede celular e, associada ao aumento de etileno, promove a formação de celulases e limita a estabilidade da parede celular (Vidal *et al.*, 2014).

Na fase de inibição, o ABA formado é distribuído dentro da planta, realizando o fechamento estomático e limitando a transpiração e a assimilação de carbono, em associação com uma superprodução de espécies reativas de oxigênio (ROS). Uma série de distúrbios metabólicos são observados nas plantas, como a divisão celular descontrolada e o aumento do alongamento celular das raízes e brotos, levando a distorção das estruturas vegetais (Rocha; Barreto; Augusti, 2022).

Na terceira fase ocorre a senescência dos tecidos das plantas devido aos danos no citoplasma e no sistema vascular, provocando a morte das mesmas (Grossman, 2010). Como sintomas em geral são observados a inibição da divisão celular; obstrução do fluxo do floema, intumescimento do caule na região dos nós; epinastia das folhas, pecíolo, ramos e caules; alteração na venação das folhas e encarquilhamento e murchamento de folhas e caules (Vidal *et al.*, 2014).

2.6.14 Efeito desconhecido

Existe ainda um mecanismo de ação com efeito desconhecido, o qual é observado para o princípio ativo monossódio metanoarsonato (MSMA), que provoca destruição das membranas celulares, contudo, por mecanismo ainda não elucidada (KOGER *et al.*, 2007). O desacoplamento energético (ATP) tem sido apontado como sendo o ponto de atuação do MSMA, mas as evidências ainda são limitadas para indicar o mecanismo correto, sendo o princípio ativo usado em pós-emergência, uma vez que a absorção é essencialmente foliar (Oliveira Jr, 2011).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito do herbicida glifosato no desenvolvimento inicial do feijão-caupi.

3.2 Objetivos específicos

Analisar o efeito do glifosato na emergência de plântulas de feijão-caupi;

Analisar como o glifosato interfere no desenvolvimento aéreo e radicular de plântulas de feijão-caupi;

Identificar a resposta do feijão-caupi a aplicação do glifosato em diferentes tempos durante o seu desenvolvimento inicial;

Avaliar a fitotoxicidade do glifosato nas plântulas de feijão-caupi mediante a proposta de uma escala para atribuição de notas às intensidades dos sintomas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material avaliado

O efeito do glifosato foi avaliado no feijão-caupi, cultivar BRS Aracê, safra 2021, a qual é uma cultivar melhorada, biofortificada e de grande utilização pelos produtores de feijão-caupi. As sementes foram oriundas da coleção do Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de feijão-caupi da Universidade Federal do Ceará.

4.2 Área experimental

O experimento foi conduzido nos canteiros do Setor de Agricultura (coordenadas 3° 44' 25.2" S e 38° 34' 30.5" W), pertencente ao Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará. A semeadura foi realizada no dia 10 de dezembro de 2024 e as plântulas foram coletadas para análise no dia 18 de dezembro de 2024.

Não foram registradas precipitações na área durante o período de realização do experimento. A temperatura média local registrada foi de 29,3 °C e umidade relativa do ar de 70 %, segundo dados obtidos da Estação Agrometeorológica da UFC (coordenadas 03°44'43"S e 38°34'51"W).

4.3 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos e quatro repetições. Cada parcela consistiu em uma linha de um metro de comprimento, na qual foram semeadas manualmente 25 sementes, adotando-se um espaçamento de 3 cm entre plantas e 20 cm entre linhas.

Foram utilizados dois canteiros, cada um com dimensões de quatro metros de comprimento e um metro de largura, de forma que as repetições um e dois foram alocadas no primeiro canteiro, e as repetições três e quatro no segundo canteiro (Figura 3). Os canteiros encontravam-se em pousio, os quais foram preparados mediante o aprofundamento e nivelamento do solo.

Figura 3 - Canteiros utilizados para a condução do experimento. (A) Repetições um e dois; (B) Repetições três e quatro.



Fonte: Elaborado pela autora.

A área foi mantida sem a interferência de espécies daninhas, o que contou com o arranque manual de plantas de tiririca que eventualmente apareceram nos canteiros. A irrigação foi realizada de forma manual, nas primeiras horas da manhã, sempre antes de ocorrer a aplicação do produto nos tratamentos.

4.4 Tratamentos utilizados

O herbicida utilizado foi o glifosato (CITROMAX®), aplicado de acordo com a recomendação do fabricante, na dosagem de 10 mL por metro linear, com o auxílio de um copo graduado. A aplicação foi realizada no período da manhã, exclusivamente na linha de plantio, em um espaçamento de um metro de comprimento. As avaliações foram conduzidas diariamente, no mesmo horário, a partir do início do experimento.

O experimento consistiu da avaliação de cinco tratamentos: T1- Testemunha (Aplicação apenas de água); T2 - Aplicação do herbicida no dia da semeadura (0 DAS); T3 - Aplicação do herbicida 2 dias após a semeadura (2 DAS); T4 - Aplicação do herbicida 4 dias após a semeadura (4 DAS); e T5 - Aplicação do herbicida 6 dias após a semeadura (6 DAS).

Ao considerar o dia em que a aplicação foi realizada, tem-se: aplicação no T2 no dia 10 de dezembro; aplicação no T3 no dia 12 de dezembro; aplicação no T4 no dia 14 de dezembro, e aplicação no T5 no dia 16 de dezembro. No dia 18 de dezembro (oitavo dia), as plântulas foram coletadas dos canteiros para realizar-se a avaliação.

4.5 Variáveis analisadas

Para a avaliação do efeito do herbicida no estabelecimento e desenvolvimento inicial do feijão-caupi foram avaliados os caracteres:

- A porcentagem de emergência (%E) foi determinada pela contagem do número de sementes emergidas, considerando aquelas cujos cotilédones estavam visíveis ao nível do solo, conforme a Equação 1 (Nakagawa, 1994). A avaliação e a contagem das plântulas normais emergidas foram realizadas no oitavo dia após a semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem (%).

$$\%E = \frac{N}{A} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

%E = Porcentagem de emergência;

N = Número de sementes emergidas;

A = Número total de sementes colocadas para emergir;

- Índice de velocidade de emergência (IVE): Realizada mediante a contagem diária de sementes emergidas, empregando-se a Equação 2 (Maguire, 1962).

$$IVE = \frac{E1}{N1} + \frac{E2}{N2} + \dots + \frac{En}{Nn} \quad (2)$$

Em que:

IVE = Índice de Velocidade de Emergência;

E1, E2, En = Número de plântulas emergidas computadas na primeira, segunda e na última contagem, respectivamente;

N1, N2, Nn = Número de dias de semeadura primeira, à segunda, segunda e última contagem, respectivamente;

- Tempo médio de emergência (TME): Realizada mediante a contagem diária de sementes emergidas e empregando-se a Equação 3 (Labouriau, 1983). Os resultados foram expressos em (dias).

$$TME = \frac{(E1 \times T1) + (E2 \times T2) + \dots + (En \times Tn)}{N} \quad (3)$$

Em que:

En = Número de sementes emergidas por dia;

Tn = Tempo (em dia) correspondente a enésima contagem;

N = Número de sementes que emergiram no tempo, referido para a enésima;

- Comprimento da parte aérea (CPA): determinado pela medição da parte aérea de dez plântulas, com o auxílio de uma régua milimetrada. Os resultados foram expressos em cm por plântulas (cm plântulas^{-1}) e, posteriormente, calculou-se a média.

- Comprimento do sistema radicular (CSR): determinado pela medição do sistema radicular de dez plântulas, com o auxílio de uma régua milimetrada. Os resultados foram expressos em cm por plântulas (cm plântulas^{-1}) e, posteriormente, calculou-se a média.

- Massa de matéria fresca da parte aérea (MFPA): foi determinada pela pesagem da parte aérea de todas as plântulas após a coleta dos canteiros. Para a remoção das plântulas, utilizou-se uma pá de jardinagem, garantindo a preservação das estruturas. A pesagem foi realizada com o auxílio de uma balança de precisão de 0,001 g. Os resultados foram expressos em gramas por plântulas (g plântulas^{-1}).

- Massa de matéria fresca do sistema radicular (MFSR): foi determinada pela pesagem do sistema radicular de todas as plântulas após sua coleta dos canteiros. Para a remoção das plântulas, utilizou-se uma pá de jardinagem, garantindo a integridade das raízes. A pesagem foi realizada com o auxílio de uma balança de precisão de 0,001 g. Os resultados foram expressos em gramas por plântulas (g plântulas^{-1}).

- Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA): determinada pela pesagem da parte aérea de todas as plântulas após secagem em estufa de ventilação forçada a 80 °C por 24 horas. A pesagem foi realizada com o auxílio de uma balança analítica de precisão (0,0001g), e os resultados foram expressos em (g plântulas^{-1}).

- Massa de matéria seca do sistema radicular (MSSR): Obtido pela pesagem do sistema radicular de todas as plântulas após secagem em estufa de ventilação forçada a 80 °C por 24 h. A pesagem foi realizada com o auxílio de uma balança analítica de precisão (0,0001g), e os resultados foram expressos em (g plântula^{-1}).

4.6 Avaliação da fitotoxicidade

- Fitotoxicidade do herbicida nas plântulas de feijão-caupi: Foi avaliada no início do aparecimento dos sintomas visuais, o que ocorreu a partir do quarto dia após a semeadura (4 DAS) (dia 14 de dezembro) e se estendeu até o dia da coleta das plântulas (8 DAS) (dia 18 de dezembro). A avaliação foi realizada de forma visual, com base nos sintomas predominantemente observados, tanto nos cotilédones como nas folhas primárias emergidas.

Tabela 3 - Proposta de escala de fitotoxicidade para análise do efeito do glifosato no desenvolvimento inicial do feijão-caupi.

Escala de Fitotoxicidade			
Nota	Intensidade	Sintomas	Porcentagem de dano
0	Ausente	Ausência de intoxicação nas plantas	0%
1	Leve	Murcha	1 a 25%
2	Moderada	Clorose e encarquilhamento	26 a 50%
3	Grave	Necrose	51 a 75%
4	Gravíssima	Morte da planta	76 a 100%

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A necessidade em propor uma nova escala se deu pelo fato de a avaliação ter sido realizada em plântulas, o que requereu categorias discrepantes que facilitassem a atribuição das notas, uma vez que a condução se deu até o oitavo dia após a emergência. Essa escala foi baseada na escala de notas da European Weed Research Council - EWRC (1964) (Tabela 4).

A escala EWRC (1964), apesar de ser empregada com o mesmo objetivo, conta com um grande número de categorias (9 categorias) o que dificultaria a atribuição correta das notas, uma vez que entre uma categoria e outra são sutis as diferenças.

Tabela 4 - Classificação da escala EWRC para fitotoxicidade nas plantas. Campina Grande, PB, 2006.

Classificação - EWRC	
Índice	Fitotoxicidade à planta
1	Nula (testemunha)
2	Muito Leve - Pequenas alterações em poucas plantas
3	Leve - Pequenas alterações visíveis em muitas plantas
4	Moderada leve - Descoloração sem necrose
5	Média - Deformação folhas e brotos
6	Quase Forte - Encarquilhamento, necrose
7	Forte - Atinge mais de 80% das folhas
8	Muito forte - Danos extremamente graves
9	Total - Morte da planta

Fonte: Escala da EWRC, Camargo (1972)

4.7 Análise estatística

Para a análise dos dados foi realizada a análise de variância (ANOVA) a fim de detectar a significância. Posteriormente realizou-se o teste de Tukey para comparações das médias, considerando um nível de 5% de probabilidade. Para a análise da fitotoxicidade foi elaborado um gráfico a fim de demonstrar a progressão dos danos ao longo do tempo. Todas as análises foram realizadas utilizando o *software* “R” Studio.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância (ANOVA) e do teste de Tukey, que foram empregados para avaliar o impacto dos tratamentos na germinação, comprimento da parte aérea, comprimento do sistema radicular, massa de matéria fresca da parte aérea e radicular e massa de matéria seca da parte aérea e radicular, bem como os resultados para a fitotoxicidade das plantas, são apresentados abaixo.

5.1 Efeito do glifosato nas variáveis de desenvolvimento inicial do feijão-caupi

A análise de variância (ANOVA) realizada para as diferentes variáveis avaliadas permitiu identificar diferenças significativas entre os tratamentos aplicados (Tabela 5). Os resultados indicam o efeito do glifosato na emergência (%E e IVE), no crescimento vegetativo (CPA) e na produção de biomassa (MFPA; MSPA) das plântulas de feijão-caupi da cultivar BRS Aracê (Tabela 5).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância da porcentagem de emergência (%E); índice de velocidade de emergência (IVE); tempo médio de emergência (TME); comprimento da parte aérea (CPA) e das raízes (CSR); massa de matéria fresca da parte aérea (MFPA) e das raízes (MFSR); massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSSR), avaliados em diferentes dias após semeadura (tempo).

FV ¹	GL ²	QUADRADOS MÉDIOS								
		%E	IVE	TME (dias)	CPA (cm)	CSR (cm)	MFPA (g)	MFSR (g)	MSPA (g)	MSSR (g)
Tratamento	4	388.800*	5.425***	0.300 ^{NS}	4.550***	0.425 ^{NS}	92.075***	2.450 ^{NS}	4.175*	0.125 ^{NS}
Bloco	3	188.533	1.250	0.133	8.183	2.183	142.45	4.583	6.983	0.183
Resíduo	12	56.533	0.625	0.133	0.350	0.891	9.241	0.916	0.608	0.225
CV ³ (%)	-	8,4	10,5	11,4	7,4	13,6	15,3	22,0	26,4	18,9

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

***significativo a $p < 0,001$; *significativo a $p < 0,05$ e ^{NS} não significativo.

Tais resultados corroboram com os obtidos por Melhorançá Filho et al. (2011), que, ao analisarem o efeito de subdoses de glifosato na germinação de sementes de cultivares de soja transgênica e convencional constataram que a aplicação do herbicida reduziu a porcentagem de germinação.

A redução significativa na emergência das sementes pode estar relacionada ao contato das plântulas com o glifosato durante o desenvolvimento. Após a absorção, o herbicida é transportado para áreas de alta atividade metabólica, onde bloqueia a biossíntese de aminoácidos aromáticos, interferindo na síntese de proteínas e metabólitos secundários (Yamada e Castro, 2007). Essa limitação reduz os níveis de proteínas solúveis nos tecidos, comprometendo a germinação e o crescimento inicial das plantas (Velini et al., 2009).

Resultados semelhantes foram observados por Oliveira et al. (2013) em feijoeiro, com queda na germinação das sementes em resposta a doses elevadas de glifosato. Estudos indicam que culturas como trigo, milho e soja germinam normalmente na presença do herbicida, porém, apresentam um desenvolvimento reduzido (Sprinkle; Meggitt; Penner, 1975). Esse efeito pode comprometer o vigor e a produtividade das plantas ao longo do ciclo.

¹ (FV)- Fonte de variação

² (GL)- Graus de liberdade

³ (CV)- Coeficiente de variação

O %E apresentou um coeficiente de variação (CV) relativamente baixo (8,4%) em comparação com o obtido para outras variáveis, demonstrando uma boa precisão na avaliação dessa característica. Esses resultados indicam que a aplicação do herbicida em tempos diferentes apresentou um efeito relevante na germinação, o que era esperado, uma vez que a germinação é um processo que ocorre ao longo do tempo.

Para a variável índice de velocidade de emergência (IVE), os dados também indicam uma diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0,001$). Com isso entende-se que o tratamento afetou diretamente a rapidez com que as plântulas emergiram, o que é um fator determinante para a uniformidade do estande a ser obtido.

As plantas que germinam e emergem primeiro têm vantagens competitivas, pois conseguem se destacar na disputa pelos recursos essenciais do ambiente, como ocorre ao estarem em competição com as plantas daninhas. Em relação a matocompetição, Cruz (1982) relata que as perdas de produção no feijoeiro podem ultrapassar 50% do total, sendo que a maior incidência de plantas daninhas ocorre entre 10 e 30 dias após a emergência do feijão.

Por outro lado, o tempo médio de emergência (TME) não apresentou diferenças estatísticas, indicando que, apesar das variações na velocidade de emergência, o tempo necessário para que as sementes emergissem permaneceu constante entre os tratamentos. Tanto o IVE quanto o TME apresentaram coeficientes de variação um pouco mais elevados (10,5% e 11,4%, respectivamente), o que reflete uma maior dispersão dos dados, possivelmente devido a fatores ambientais ou variações naturais no processo de germinação.

No que se refere ao crescimento vegetativo, as análises estatísticas indicam que a aplicação do herbicida resultou em um efeito significativo ($p < 0,001$), no comprimento da parte aérea das plântulas (CPA). Analisando os impactos do glifosato nas plântulas de soja, tanto em cultivares geneticamente modificadas (GM) quanto não modificadas (não-GM), Tillmann e West (2004), Funguetto et al. (2004) e Bertagnolli (2005) observaram que o glifosato reduziu o comprimento total de plântulas da cultivar RR em comparação à testemunha.

Resultados semelhantes foram relatados por Miranda (2004) e Bonfini (2001), que constataram a redução do comprimento total de plântulas em cultivares de soja não-GM, também tratadas com o herbicida glifosato. Tal resultado deve-se ao fato de que a aplicação do herbicida afetou negativamente o desenvolvimento normal das plântulas, inibindo o crescimento da parte aérea, assim como obtido para a presente pesquisa.

Com relação ao comprimento do sistema radicular (CSR), ao contrário do (CPA), a análise de variância não revelou efeito significativo, indicando que os tratamentos testados não interferiram no crescimento das raízes (Tabela 5). Dessa forma, entende-se que sistema radicular e parte aérea apresentam respostas diferentes ao efeito do glifosato, apesar de ambos serem caracteres relacionados ao desenvolvimento inicial da espécie.

A biomassa das plântulas foi impactada pelo uso do glifosato, principalmente em relação a massa de matéria fresca da parte aérea (MFPA), a qual apresentou diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,001$). Os dados indicam que para a massa fresca do sistema radicular (MFSR) não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, sugerindo que o desenvolvimento das raízes não foi alterado pelo glifosato, assim como discutido para o (CSR) anteriormente. Esse resultado pode estar relacionado à alta capacidade de adsorção do herbicida às partículas do solo, o que ocorre rapidamente, limitando sua mobilidade e disponibilidade para absorção pelas plantas (Kruse; Trezzi; Vidal, 2000).

Com relação a massa seca da parte aérea (MSPA), diferenças significativas ($p < 0,05$) foram observadas, sugerindo que a quantidade de biomassa acumulada na parte aérea variou entre os tratamentos. No entanto, a massa seca do sistema radicular (MSPR) não apresentou diferenças significativas, reforçando que o crescimento da raiz não foi afetado pelo herbicida utilizado.

Com base nesses resultados destaca-se que o herbicida influenciou significativamente o crescimento da parte aérea das plântulas, conforme evidenciado pelos parâmetros de comprimento da parte aérea (CPA), massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MFSA). Em contrapartida, o crescimento radicular, avaliado por meio do comprimento do sistema radicular (CSR), massa fresca do sistema radicular (MFSR) e massa seca do sistema radicular (MSSR), não foi influenciado pelo herbicida.

A Tabela 6 apresenta os resultados do teste de médias para as variáveis analisadas. O tratamento T1 foi utilizado como testemunha, onde não foi aplicado o herbicida. Os altos valores para germinação, crescimento da parte aérea e radicular e biomassa acumulada demonstram que essa foi a condição favorável para o desenvolvimento inicial das plântulas de feijão-caipi, possibilitando comparar esses resultados com os expressos ao se ter o uso do herbicida.

Tabela 6 - Teste de média para os caracteres porcentagem de emergência (%E); índice de velocidade de emergência (IVE); tempo médio de emergência (TME); comprimento da parte

aérea (CPA); comprimento do sistema radicular (CSR); massa fresca da parte aérea (MFPA); massa fresca do sistema radicular (MFSR); massa seca da parte aérea (MSPA); e massa seca do sistema radicular (MSSR), avaliados em diferentes dias após semeadura (tempo).

Tratamento	%E	IVE	TME (dias)	CPA (cm)	CSR (cm)	MFPA (g)	MFSR (g)	MSPA (g)	MSSR (g)
Testemunha	97 a	8,3 a	3,0 a	9,5 a	6,8 a	27,5 a	5,5 a	4,5 a	0,3 a
T2 (0 DAS)	73 b	5,5 b	3,5 a	8,0 b	7,3 a	18,5 b	3,8 a	2,5 b	0,1 a
T3 (2 DAS)	89 ab	8,3 a	3,0 a	8,0 b	7,3 a	19,3 b	4,5 a	2,8 ab	0,3 a
T4 (4 DAS)	95 a	7,8 a	3,5 a	6,5 c	7,0 a	14,3 b	3,5 a	1,8 b	0,3 a
T5 (6 DAS)	95 a	8,0 a	3,0 a	7,8 bc	6,5 a	19,8 b	4,5 a	3,3 ab	0,4 a
Média	89,8	7,6	3,2	7,9	7,0	19,9	4,4	3,0	0,3

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05% de probabilidade.

Para a variável %E, os melhores resultados foram observados no tratamento controle, que apresentou a maior formação de plântulas normais. Além disso, os tratamentos T4 e T5, nos quais a aplicação ocorreu aos quatro e seis dias respectivamente após a semeadura (DAS)⁴, também demonstraram altas taxas de germinação, atingindo pelo menos 95%.

O tratamento T2, no qual a aplicação do herbicida foi realizada no dia da semeadura (0 DAS), apresentou uma redução significativa na taxa de germinação, que foi de 73%, evidenciando um impacto deletério. Os resultados indicam a possível ocorrência de efeitos fitotóxicos, provavelmente decorrentes da falta de seletividade do herbicida, da ausência de genes de resistência no feijão-caupi, além dos efeitos do acúmulo de shiquimato devido à inibição da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS) (Amarante Júnior e Santos, 2002). Já o tratamento T3, em que a aplicação do herbicida ocorreu dois dias após a semeadura (2 DAS), apresentou uma taxa de germinação de 89%. Dessa forma, o tempo de aplicação do herbicida mostrou-se um fator-chave para a germinação.

Para o IVE, de acordo com o teste de médias, os tratamentos T1, T3, T4 e T5 não diferiram entre si e apresentaram valores entre 7,8 e 8,3, indicando que as plântulas de feijão emergiram mais rapidamente no solo. Já o tratamento T2 apresentou um desempenho inferior

⁴ (DAS)- Dias após a semeadura

(5,5), evidenciando um comprometimento na eficiência do processo germinativo, uma vez que o valor obtido foi inferior à média geral do experimento, a qual foi de 7,6 para a variável.

O (TME), como não apresentou diferenças estatísticas na ANOVA, não indicou variação entre as médias dos tratamentos. Esse resultado sugere uma estabilidade temporal na emergência das plântulas de feijão, a qual contou com um valor médio de 3,2 dias, ao considerar todos os tratamentos.

Ao testar os efeitos do glifosato no desenvolvimento do feijoeiro, Oliveira et al. (2013) relataram que o (TMG) não apresentou diferenças significativas entre as médias comparadas. Nenhuma das doses aplicadas do herbicida atingiu valores iguais ou superiores à média do tratamento controle. Além disso, os autores destacam que, ao avaliar o (TMG), expresso em dias ou horas, um menor tempo indica um melhor desempenho do lote avaliado. Dessa forma, nenhuma das subdoses testadas contribuiu para a redução do número de dias necessários para a emergência das plântulas em relação à testemunha.

Para o (CPA) verifica-se que o tratamento T4, no qual a aplicação do herbicida ocorreu quatro dias após a semeadura (4 DAS), apresentou a menor média (6,5 cm) em comparação aos demais tratamentos. Oliveira et al. (2013), ao estudarem os efeitos de subdoses de glifosato na germinação e no desenvolvimento do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), relataram que, ao longo do tempo, o efeito inibitório do herbicida tornou-se mais evidente. ainda segundo os autores, as doses de glifosato tiveram maior impacto sobre as plântulas de feijoeiro, reduzindo significativamente o crescimento da parte aérea e interferindo no número de plântulas normais observadas. Isso evidencia um efeito adverso significativo no desenvolvimento da parte aérea das plântulas de feijão-caupi submetidas ao tratamento com o herbicida, de forma que aplicações mais tardias se revelaram mais prejudiciais para o caractere.

Para o comprimento do sistema radicular (CSR), não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos nem variações no teste de médias. Os valores para os tratamentos variaram de 6,5 cm a 7,3 cm, obtendo o caractere média 7,0. Isso sugere uma relativa estabilidade no desenvolvimento radicular das plântulas submetidas ao glifosato.

No parâmetro (MFPA), todos os tratamentos apresentaram diferenças estatísticas em relação à testemunha, indicando que a aplicação do herbicida em qualquer momento do desenvolvimento das plântulas gera alteração nessa variável. Já a massa fresca do sistema radicular (MFSR) não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, indicando a não suscetibilidade dessa variável à condição experimental.

A (MSPA) revelou-se menor nos tratamentos T2 e T4 os quais não diferiram entre si, mas apresentaram diferenças em relação aos demais. Em contrapartida, a (MSSR) manteve-se constante para os tratamentos, com valores variando de 0,1 g a 0,4 g, sem que diferenças estatísticas fossem observadas.

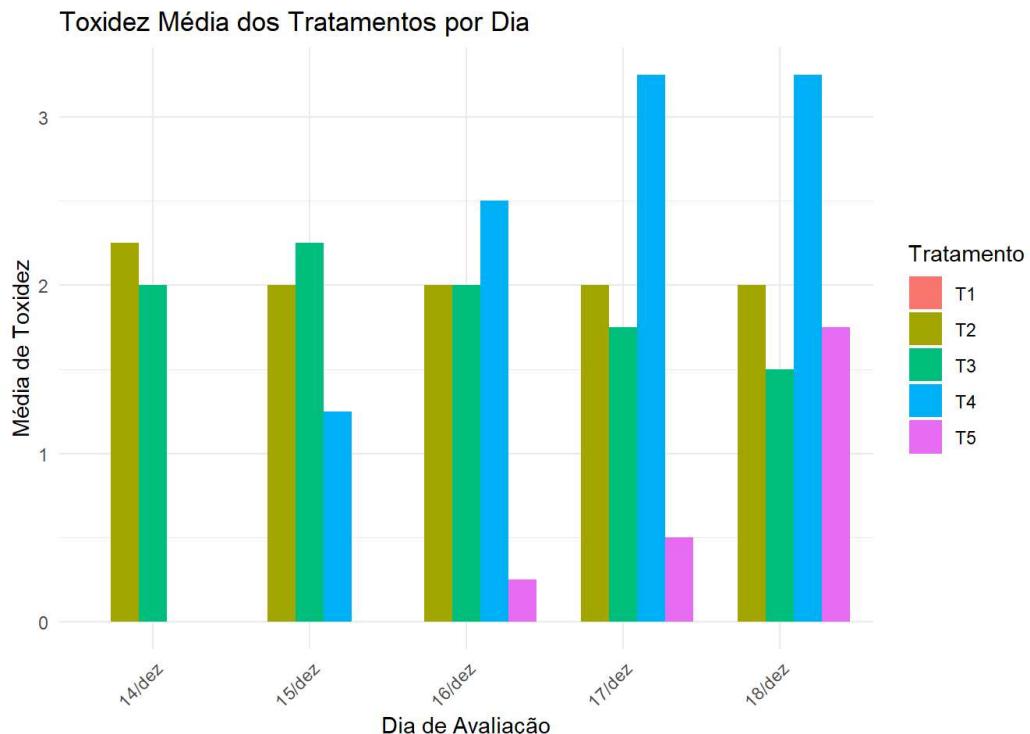
A análise integrada dos dados indica que o herbicida impactou negativamente o desenvolvimento das plântulas. O tratamento T2 em que a aplicação do herbicida foi realizada no dia da semeadura (0 DAS) mostrou-se particularmente prejudicial à germinação e à velocidade de emergência. Enquanto tratamento T4 em que a aplicação do herbicida, foi realizada quatro dias após a semeadura (4 DAS) comprometeu o crescimento da parte aérea e a acumulação de biomassa.

Já para os tratamentos T3 e T5, em que a aplicação do herbicida foi realizada dois e seis dias após a semeadura, respectivamente, foi observado um desempenho intermediário para os caracteres. Os resultados sugerem que o herbicida aplicado influenciou significativamente a fisiologia e a morfogênese das plântulas de feijão-caupi.

5.2 Fitotoxicidade do glifosato em plântulas de feijão-caupi

Para avaliar o efeito da fitotoxicidade do glifosato no desenvolvimento inicial do feijão-caupi foi utilizado a escala para atribuição de notas com base na intensidade dos sintomas observados (Tabela 3). Ao considerar o efeito da toxicidade do glifosato no desenvolvimento inicial do feijão-caupi é possível observar o (Gráfico 1). Nesse são apresentados os dias de avaliação (Eixo X) e a média de fitotoxicidez (Eixo Y), obtidos a partir da atribuição das notas com a utilização da escala proposta.

Gráfico 1- Fitotoxicidade do glifosato no desenvolvimento inicial do feijão-caupi



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Os tratamentos T2, T3 e T4 induziram níveis de fitotoxicidez significativamente superiores ao tratamento controle - T1. Em contraste, o tratamento T5 demonstrou níveis reduzidos de fitotoxicidade, sugerindo uma menor suscetibilidade à dose no tempo em que foi aplicada, com características fenotípicas mais semelhantes ao controle.

Ao comparar os tratamentos pode-se perceber as variações resultantes da aplicação do herbicida, conforme Figuras 4, 5, 6, 7 e 8. Quanto mais jovens eram as plântulas, maior era a sensibilidade que apresentavam ao herbicida, o que foi observado para todas as repetições dentro de um mesmo tratamento.

Figura 4 - Desenvolvimento das plântulas de feijão-caupi no tratamento T1 – Testemunha.



Fonte: Dados da Pesquisa /Autora

Figura 5 - Desenvolvimento das plântulas de feijão-caupi no tratamento T2 - Aplicação 0 DAS.



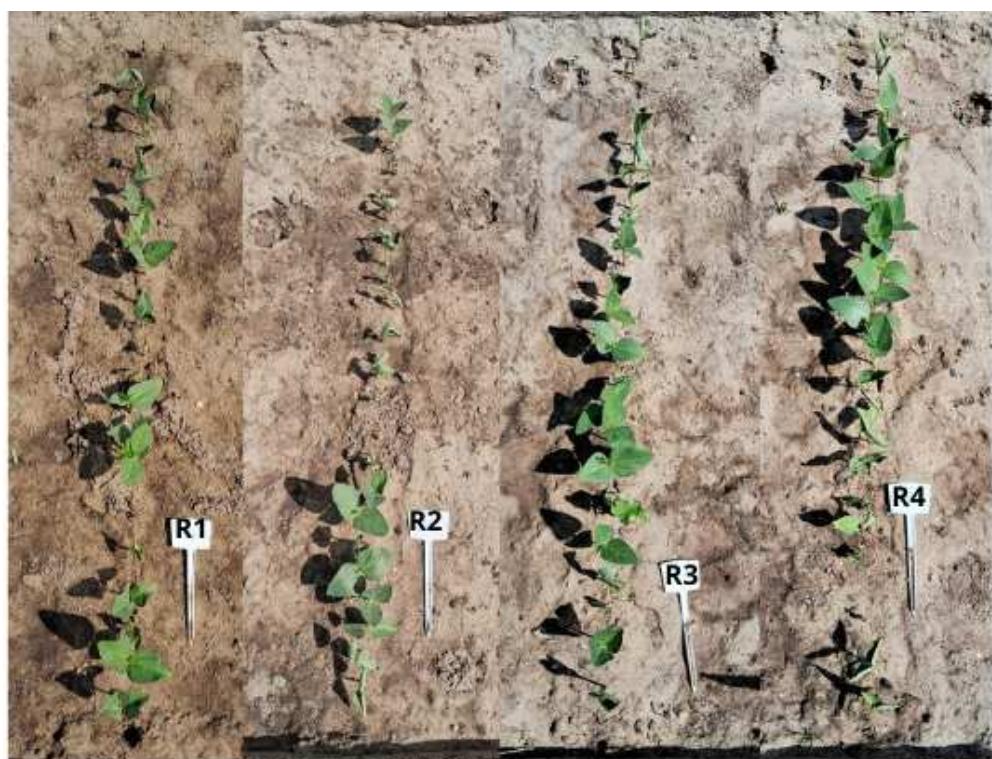
Fonte: Dados da Pesquisa /Autora

Figura 6 - Desenvolvimento das plântulas de feijão-caupi no tratamento T3 - Aplicação 2 DAS.



Fonte: Dados da Pesquisa /Autora

Figura 7 - Desenvolvimento das plântulas de feijão-caupi no tratamento T4 - Aplicação 4 DAS.



Fonte: Dados da Pesquisa /Autora

Figura 8 - Desenvolvimento das plântulas de feijão-caupi no tratamento T5 - Aplicação 6 DAS.



Fonte: Dados da Pesquisa /Autora

A avaliação visual das plântulas evidenciou sintomas expressivos de fitotoxicidade induzidos pela aplicação do herbicida, como inibição do crescimento e posterior morte das plântulas. Os tratamentos apresentaram clorose (Figura 9), necrose (Figura 10) e murcha (Figura 11), além de deformações morfológicas no desenvolvimento das folhas. Ademais, verificou-se uma redução significativa no crescimento da parte aérea e na área foliar em relação ao controle.

Figura 9 - Sintoma de clorose foliar induzido pelo herbicida glifosato.



Fonte: Dados da Pesquisa /Autora

Figura 10 - Sintoma de necrose foliar induzido pelo herbicida glifosato.



Fonte: Dados da Pesquisa /Autora

Figura 11 - Sintoma de murcha induzida pelo herbicida glifosato.



Fonte: Dados da Pesquisa /Autora

6 CONCLUSÕES

A germinação das sementes de feijão-caupi é negativamente afetada pela aplicação do herbicida glifosato, especialmente em relação à porcentagem de emergência (%E) e ao índice de velocidade de emergência (IVE).

O crescimento da parte aérea das plântulas foi prejudicado pelo efeito do glifosato, conforme evidenciado pela redução no comprimento da parte aérea (CPA), na massa fresca da parte aérea (MFPA) e na massa seca da parte aérea (MSPA). Por outro lado, o crescimento radicular não sofreu influência significativa com a aplicação do herbicida.

A aplicação do glifosato no momento da semeadura (0 DAS) compromete diretamente a germinação das sementes, enquanto sua aplicação durante o desenvolvimento das plântulas, especialmente no quarto dia após a semeadura (4 DAS), interfere no crescimento da parte aérea.

A escala proposta para a análise da fitotoxicidade demonstrou ser um método eficiente para avaliar os tratamentos, permitindo uma atribuição objetiva e precisa das notas.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, T. *et al.* Influência alelopática de plantas daninhas aquáticas em ecossistemas agrícolas: Uma revisão. **Planta Daninha**, v. 35, p. e017163146, 2017.
- ABBAS, T. *et al.* Comparative influence of water soluble phenolics of warm climate aquatic weeds on weeds species composition and rice-wheat cropping system. **Scientia Agriculture**, v. 10, n. 3, p. 145-150, 2015.
- ACHARY, V. M. M. *et al.* Overexpression of improved EPSPS gene results in field level glyphosate tolerance and higher grain yield in rice. **Plant biotechnology journal**, v. 18, n. 12, 2020.
- AMARANTE JUNIOR, O. P.; SANTOS, T. C .R. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química Nova**, São Paulo, v.25, n.4, p.589-593, 2002
- AKANDE, S. R. Genotype by environment interaction for cowpea seed yield and disease reactions in the forest and derived savanna agro-ecologies of south-west Nigeria. Am. Euras. **J. Agric. Environ. Sci.**, v. 2, n. 2, p. 163-168, 2007.
- ALBRECHT, L. P. *et al.* Métodos de controle de plantas daninhas. In: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. **Matologia: Estudos sobre plantas daninhas**. 1. ed. Jaboticabal: Fábrica da palavra, cap. 5, p. 147. 2021.
- ALBRECHT, L. P.; MISSIO, R. F. **Manejo de cultivos transgênicos**. Palotina, PR. UFPR, 139 p. 2013.
- ALMEIDA, C. V.; ALMEIDA, M. **Morfologia da raiz e plantas com sementes**. Biblioteca Digital da Produção Intelectual- BDPI, Universidade de São Paulo, 2014. Disponível em <http://www.producao.usp.br/handle/BDPI/44838>. Acesso em: 14/10/ 2024.
- ALMEIDA, E. I. B.; FERRÃO, G. D. E. **Fundamentos em biologia e manejo de plantas daninhas**. 1. ed. São Luiz, EDUFMA, 2022. 215 p.
- ALOO, P. *et al.* A review of the impacts of invasive aquatic weeds on the biodiversity of some tropical water bodies with special reference to Lake Victoria (Kenya). **Biodiversity journal**, v. 4, n. 4, p. 471-482, 2013.
- ANDRADE JÚNIOR. A. S. *et al.* **Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 108 p. 2002.
- BAKER H. G. The Evolution of Weeds. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 5, p. 1–24, 1974.
- BARRETTO FILHO, J. A. B.; SILVA, A. M. **Eficiência do uso de herbicidas sistêmicos em recuperação de pastagens**. Cadernos de pós-graduação da FAZU, v. 2. 2011.
- BARROSO, A. A. M. *et al.* **Métodos de controle de plantas daninhas**. In: OLIVEIRA JR.; R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. Biologia e Manejo de Plantas Daninhas. Edição dos

autores. Curitiba: Omnipax, 2011, cap. 06, p. 92.

BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. **Matologia**: Estudos sobre plantas daninhas. 1. ed. Jaboticabal: Fábrica da palavra, 2021. 547 p, cap. 3, p. 16-17.

BASSET, G. J. C. *et al.* Folate synthesis and metabolism in plants and prospects for biofortification. **Crop Science**, v. 45, n. 2, p. 449-453, 2005.

BEDHOMME, M. *et al.* Folate metabolism in plants: an *Arabidopsis* homolog of the mammalian mitochondrial folate transporter mediates folate import into chloroplasts. **Journal of Biological Chemistry**, v. 280, n. 41, 2005.

BELTRÃO, N. E. M.; MELHORANÇA, A. L. **Plantas daninhas: importância e controle**. 1998.

BERTAGNOLLI, C. M. **Detecção e quantificação de sementes de soja geneticamente modificada resistente ao glifosato em sistema hidropônico**. 2005. 73f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2005.

BIOFORT. Rede Biofort. Disponível em: <https://www.embrapa.br/biofort> Acesso em: 22 jan 2025.

BLANCO, H. G. A.; OLIVEIRA, D.A.; ARAÚJO, J.B.M.; GRASSI, N. Observações sobre o período em que as plantas daninhas competem com a soja (*Glycine max* L. Merrill). **O Biológico**, São Paulo, v.39, n.2, p.31-35, 1973.

BLANCO, H. G. Ecologia das plantas daninhas: competição das plantas daninhas em culturas brasileiras. In: **controle integrado de plantas daninhas**. São Paulo: CREA, 1982. p.42-76.

BLEASDALE, J. K. A. 1960. Studies on plant competition. In: ZIMDAHL, R. L. **Fundamentals of weed science**. Academic press. 2018, cap. 2, p. 3-8.

BÖGER, P.; MATTHES, B.; SCHMALFUß, J. Towards the primary target of chloroacetamides–new findings pave the way. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 56, n. 6, p. 497-508, 2000.

BOLLEY, H. L. **Weeds and Methods of Eradication; Weed Control by Means of Chemical Sprays**. North Dakota Agricultural College, Government Agricultural Experiment Station for North Dakota, 1908.

BONFINI, L.; HEINZE, P.; KAY, S.; VAN DEN EEDE, G. **Review of GMO detection and quantification techniques**. Report from the European Commission Joint Research Center, Ispra, 2001. 67p.

BOOTH, B. D.; MURPHY, S. D.; SWANTON, C. J. **Weed ecology in natural and agricultural systems**. 2 ed. Wallingford, CABI Publishing, 2003. 303 p. ISBN: 978-0-85199-528-1.

BOUKAR, O. *et al.* Evaluation of cowpea germplasm lines for protein and mineral

- concentrations in grains. **Plant Genetic Resources**, v. 9, n. 4, p. 515-522, 2011.
- BOUKAR, O. *et al.* Genomic tools in cowpea breeding programs: status and perspectives. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 757, 2016.
- BRABHAM, C. *et al.* Indaziflam herbicidal action: a potent cellulose biosynthesis inhibitor. **Plant physiology**, v. 166, n. 3, p. 1177-1185, 2014.
- BRACCINI, A. L. Banco de sementes e mecanismos de dormência em sementes de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J. (Eds.). **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba: Agropecuária, 2001. p.59-102.
- BRAIN, R. A. *et al.* Herbicidal effects of sulfamethoxazole in *Lemna gibba*: using p-aminobenzoic acid as a biomarker of effect. **Environmental science & technology**, v. 42, n. 23, 2008.
- BRASIL. (2009). **Regras para análise de sementes**. Brasília: Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. p. 395.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (Agrofit). Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons Acesso em: 22 jan. 2025.
- BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. F. Biologia de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JR.; R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Edição dos autores. Curitiba: Omnipax, 2011, cap. 1, p. 1-36.
- BRUNHARO, C. A. C. G.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; NICOLAI, M. **Aspectos do mecanismo de ação do amônio glufosinato: culturas resistentes e resistência de plantas daninhas**. Revista Brasileira de Herbicidas, v. 13, n. 2, p. 163-177, 2014.
- CARMONA, Ricardo. Banco de sementes e estabelecimento de plantas daninhas em agroecossistemas. **Planta daninha**, v. 13, p. 3-9, 1995.
- CARMONA, Ricardo. Problemática e manejo de bancos de sementes de invasoras em solos agrícolas. **Planta daninha**, v. 10, p. 05-16, 1992.
- CARVALHO, L. B. **HERBICIDAS**. 1. ed. Lages, SC: Editado pelo autor, 2013. 62 p, cap. 1, p. 9-10.
- CARVALHO, L. B. **Plantas Daninhas**. 1. ed. Lages, SC: Editado pelo autor, 2013. 82 p, cap. 1, p. 2-3. ISBN 978-85-912712-2-1. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br>. Acesso em: 2 out. 2024.
- CHASE, W. M. *et al.* An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 181, n. 1, p. 1-20, 2016.
- CHEMALE, V. M.; FLECK, N. G. Avaliação de cultivares de soja em competição com (*Euphorbia heterophylla*) sob três densidades e dois períodos de ocorrência. **Planta Daninha**,

v.5, n.2, p.36-45. 1982.

COBUCCI, T.; DI STEFANO, J. G.; KLUTHCOUSKI, J. **Manejo de plantas daninhas na cultura do feijoeiro em plantio direto.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 56p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira grãos, v. 12 – safra 2024/2025 – nº4 – Quarto levantamento | janeiro 2025, Brasília, p. 45-63. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos> Acesso em: 22 jan. 2025.

CONCENÇO, G. et al. Ciência das plantas daninhas: histórico, biologia, ecologia e fisiologia. **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**, v. 1, p. 1-32, 2014.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Feijão-caupi, a África no Nordeste Brasileiro, agosto 2020.** Disponível em: <https://cnabrasil.org.br/cna-pulses/page3.html> Acesso em: 20 jan. 2025.

CORNIANI, N. et al. Novel bioassay for the discovery of inhibitors of the 2-C-Methyl-D-erythritol 4-phosphate (MEP) and terpenoid pathways leading to carotenoid biosynthesis. **PLOS ONE**, v. 9, n. 7, 2014.

CORREIA, N. M. **Proteção química da lavoura.** Belo Horizonte: EMBRAPA Cerrados, Informe Agropecuário, V. 42, n. 315, 2021.

CORTEVA. **Manejo de plantas daninhas: mecanismos de ação de herbicidas.** Disponível em:
<https://www.corteva.com.br/boas-praticas-agricolas/institucional/manejo-de-plantas-daninhas.html#13>. Acesso em: 16 dez. 2024.

CRUZ, L. S. P. Manejo de plantas daninhas em culturas anuais (algodão, amendoim, feijão, milho, soja, sorgo)[*Gossypium hirsutum*, *Arachis hypogaea*, *Phaseolus vulgaris*, *Zea mays*, *Glycine max*, *Sorghum spp*]. 1982.

CURY, J. P. et al. Acúmulo e partição de nutrientes de cultivares de milho em competição com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 30, p. 287-296, 2012.

DA SILVA, J. F. et al. Efeitos do controle de plantas daninhas, com herbicidas, na produção e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Planta Daninha**, v. 3, p. 18-22, 1980.

DAYAN, F. E. et al. **Herbicide mechanisms of action and resistance.** Science Direct. Vol, 4. 2019.

DAYAN, F. E.; BARKER, A.; TRANEL, P. J. Origins and structure of chloroplastic and mitochondrial plant protoporphyrinogen oxidases: implications for the evolution of herbicide resistance. **Pest management science**, v. 74, n. 10, 2018.

DAYAN, F. E.; DUKE, S. O. **Phytotoxicity of Protoporphyrinogen Oxidase Inhibitors: Phenomenology, Mode of Action.** University Mississippi, USA. 1997.

DUKE, S. O. **Overview of herbicide mechanisms of action.** Environmental health perspectives, v. 87, p. 263-271, 1990.

DUKE, S.O.; KENYON, W.H. Effects of dimethazone (FMC 57020) on chloroplast development: II. Pigment synthesis and photosynthetic function in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) primary leaves. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, pp.11-18, 1986.

DUKE, S.O.; KENYON, W.H.; PAUL, R. N. FMC 57020 effects on chloroplast development in pitted morningglory (*Ipomoea lacunosa*) cotyledons. **Weed Science**, p.786-794. 1985.

EMBRAPA MEIO NORTE. **Cultivo do feijão-caupi.** Sistemas de Produção, Versão Eletrônica 2^a edição | Mar/2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/> Acesso em: 21 jan. 2025.

EMBRAPA MEIO-NORTE. **Feijão-caupi BRS Aracê.** 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/985/feijao-caupi-brs-arace> Acesso em: 21 jan. 2024.

FERHATOGLU, Y.; BARRETT, M. Studies of clomazone mode of action. **Pesticide biochemistry and physiology**, v. 85, n. 1, p. 7-14, 2006.

FIGUEREDO, S. S.; LOECK, A. E.; ROSENTHAL, M. D.; AGOSTINETTO, D.; FONTANA, L. C.; RIGOLI R. P. Influência de doses reduzidas do glyphosate no tomateiro (*Lycopersicon esculentum*). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 3, p. 849-857, 2007.

FONTANELI R. S.; SANTOS H. P.; FONTANELI R. S. “Morfologia de gramíneas”. In: Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Região Sul-Brasileira, p. 33- 39, 2009.

FONTES, J. A. R.; SHIRATSUCHI, L. S.; NEVES, J. L.; JÚLIO, L.; FILHO, J. S. **Manejo integrado de plantas daninhas.** 1. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrado, 2003. 48 p. (Documento/ Embrapa Cerrado, ISBN 1517-5111; 103).

FONTES, J. R. A. *et al.* Metolachlor e fomesafen aplicados via irrigação por aspersão em plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 99-106, 2006.

FREIRE FILHO, F. R. *et al.* **BRS Aracê: cultivar de feijão-caupi com grãos de cor verde oliva rica em ferro e zinco.** Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI. 2009.

FREIRE FILHO, F. R. *et al.* **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 84 p. 2011.

FREIRE FILHO, F. R. **Origem, evolução e domesticação do caupi.** In: ARAÚJO, J. P. P. de.; WATT, E. E. (Org.). O caupi no Brasil. Brasília, DF: IITA: EMBRAPA, p. 26-46. 1988.

FREIRE FILHO, F. R.; CARDOSO, M. J.; ARAÚJO, A. G. de. Caupi: nomenclatura científica e nomes vulgares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, n. 12, p. 1369-1372, dez. 1983.

FREITAS, F. C. L. *et al.* Interferência de plantas e específicas na cultura do feijão-caupi.

Planta Daninha, v. 2, pág. 241–247, abril. 2009.

FROTA, K. M. G. *et al.* Cholesterol-lowering properties of whole cowpea seed and its protein isolate in hamsters. **Journal of food science**, v. 73, n. 9, p. H235-H240, 2008.

FUERST, E. P.; NORMAN, M. A. Interactions of herbicides with photosynthetic electrontransport. **Weed Science, Champaign**, v. 39, n. 3, p. 458-464, 1991.

FUNGUETTO, C. I. *et al.* Detecção de sementes de soja geneticamente modificada tolerante ao herbicida glifosato. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, n. 1, p. 130–138, 2004.

GALLANDT E. R.; WEINER J. Crop–weed competition, John Wiley & Sons. p. 1-8, 2015.

GARCIA, A.; GAZZIERO, D. L. P. Torres. Determinação do período crítico de ervas daninhas com a cultura da soja. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Resultados de pesquisa de soja 1980/81**. Londrina, 1981. p.140-141.

GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; PRETE, C. E. C.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F. **As plantas daninhas e a semeadura direta**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 59 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 33).

GIRALDELI, L. A. **Glifosato: Fatos e curiosidades sobre o mais usado herbicida**. Lavoura 10, 2020.

GÖTZ, T.; BÖGER, P. The very-long-chain fatty acid synthase is inhibited by chloroacetamides. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 59, n. 7-8, 2004.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**. 2010.

GROSSMANN, K.; EHRHARDT, T. On the mechanism of action and selectivity of the corn herbicide topramezone: a new inhibitor of 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase. **Pest Management Science**, v. 63, p. 429–439, 2007.

HAMNER, C. L.; TUKEY, H. B. The herbicidal action of 2, 4 dichlorophenoxyacetic and 2, 4, 5 trichlorophenoxyacetic acid on bindweed. **Science**, v. 100, n. 2590, p. 154-155, 1944.

HARLAN, J. R.; DE WET, J. M. J. “Some Thoughts about Weeds.” **Economic Botany**, vol. 19, no. 1, 1965, pp. 16–24. JSTOR, <http://www.jstor.org/stable/4252561>. Accessed 1 Oct. 2024.

HARPER, J. L. The ecological significanc e of dormancy and its importance in weed control. International Congress of Plant Protection, 415- 420 1957.In: CARMONA, Ricardo. Problemática e manejo de bancos de sementes de invasoras em solos agrícolas. **Planta daninha**, v. 10, p. 05-16, 1992.

HARWOOD, J. Lipids in plants and microbes. **Springer Science & Business Media**, 2012.

HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE – HRAC. **Classification of herbicides**

according to mode of action. 2005. Web: <<http://www.plantprotection.org/hrac>

HESS, D.; BAYER, D. The effect of trifluralin on the ultrastructure of dividing cells of the root meristem of cotton (*Gossypium hirsutum* L. 'Acala 4-42'). **Journal of cell science**, v. 15, n. 2, p. 429-441, 1974.

HESS, F. D. Light-dependent herbicides: an overview. **Weed science**, v. 48, n. 2, p. 160-170, 2000.

HOFER, U. *et al.* Pinoxaden-for broad spectrum grass weed management. In: cereal crops. **zeitschrift fur pflanzenkrankheiten und pflanzenschutz-sonderheft**, v. 20, p. 989, 2006.

JABLONKAI, I. **Molecular mechanism of action of herbicides.** Herbicides: Mechanisms and Mode of Action, 2011.

JAWORSKI, E.G. Mode of action of N-phosphonomethylglycine: inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 20, p. 1195-1198, 1972.

JOHNSON, W. O. *et al.* RH-6201 (Blazer): A new broad-spectrum herbicide for postemergence use in soybeans. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 26, n. 1, p. 285-286, 1978.

KAPPLER, B.; NAMUTH, D. **Herbicide classification.** University of Nebraska-Lincoln, USA, 2004.

KOGER, C. H. *et al.* MSMA antagonizes glyphosate and glufosinate efficacy on broadleaf and grass weeds. **Weed Technology**, v. 21, n. 1, p. 159-165, 2007.

KOZLOWSKI, L. A. *et al.* Período crítico de interferência das plantas daninhas na cultura do feijoeiro comum em sistema de semeadura direta. **Planta Daninha**, v. 20, n. 2, p. 213-220, 2002.

KRUSE, N. D.; TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Herbicidas inibidores da EPSPs: revisão de literatura. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 1, n. 2, p. 139-146, 2000.

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes.** Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, Washington. 1983.

LAMEGO, F. P. *et al.* Seletividade dos herbicidas S-metolachlor e alachlor para o feijão-carioca. **Planta Daninha**, v. 29, p. 877-883, 2011.

LEA, P. J.; RIDLEY, S. M. **Glutamine synthetase and its inhibition.** Herbicides and plant metabolism, v. 38, p. 137-170, 1989.

LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. Rio de Janeiro: IBGE, v. 5, n. 12, 1993; v. 6, n. 12, 1994; v. 7, n. 12, 1995; v. 8, n. 12, 1996; v. 9, n. 12, 1997; v. 10, n. 12, 1998; v. 11, n. 12, 1999; v. 12, n. 12, 2000; v. 13, n. 12, 2001.

LOGUSCH, E. W. *et al.* Inhibition of plant glutamine synthetases by substituted

- phosphinothricins. **Plant Physiology**, v.95, n.4, p.1057-1062, 1991.
- LONGHI-WAGNER, H. M. (coord.). 2001. Poaceae. In: Wanderley, M. G. L. *et al.* Shepherd, G. J., Giulietti, A. M., Melhem, T. A., Kameyama, C., Bittrich, V. (Eds.). **Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo**. Instituto de Botânica, São Paulo, SP. vol. 1. 2001.
- LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 6 ed. Editora Plantarum, Nova Odessa, 2006, 383p.
- LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 640 p.
- LORENZI, H. **Plantas daninhas no Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais**. 3. ed., Nova Odessa. 2000. 608p.
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.2, p.176-177, 1962.
-
- MACIEL, C. D. G. *et al.* Método alternativo para avaliação da absorção de atrazine por plantas de Brachiaria plantaginea. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 431-438, 2002.
- MANCUSO, Mauricio Antonio Cuzato. *et al.* Seletividade e eficiência de herbicidas no controle de plantas daninhas na cultura do feijão-caupi. **Revista Ceres**, v. 63, p. 25-32, 2016.
- MARCHI, G.; MARCHI, E.C. S.; GUIMARÃES, T.G. **Herbicidas: mecanismos de ação e uso**. Documentos 227 Embrapa Cerrados, Planaltina – DF, p. 34, 2008.
- MARÉCHAL, R.; MASCHERPA, J. M.; STAINIER, F. **Étude taxonomique d'un groupe complexe d'espèces de genres Phaseolus et Vigna (Papilionaceae) sur la base de donneés morphologiques et polliniques, traitées par l'analyse informatique**. Boissiera, Geneve, v. 28, p. 1-273, 1978.
- MATOS, V. P. *et al.* Período crítico de competição entre plantas daninhas e a cultura do caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 5, p. 737-743, 1991.
- MATTHES, B.; BÖGER, P. **Chloroacetamides affect the plasma membrane**. Zeitschrift für Naturforschung C, v. 57, n. 9-10, 2002.
- MATZENBACHER, F. O. *et al.* **Environmental and physiological factors that affect the efficacy of herbicides that inhibit the enzyme protoporphyrinogen oxidase: a literature review**. Planta Daninha, v. 32, p. 457-463, 2014.
- MCIVOR, J. G.; HOWDEN, S. M. Dormancy and germination characteristics of herbaceous species in the seasonally dry tropics of northern Australia. **Austral Ecology**, v. 25, n. 3, p. 213-222, 2000.
- MELHORANÇA FILHO, A. L.; PEREIRA, M. R. R.; MARTINS, D. Efeito de subdoses de glyphosate sobre a germinação de sementes das cultivares de soja RR e convencional. **Biosci. j. (Online)**, p. 686-691, 2011.

MENDES, K. F.; SILVA, A. A.; MIELKE, K. C. **Plantas daninhas: herbicidas.** Oficina de Textos. V.1, p. 200, 2023.

MIRANDA, D. M. DE. *et al.* Bioensaios na detecção e quantificação de sementes de soja geneticamente modificada resistente ao glifosato. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 1, p. 93–103, jun. 2005.

MOGIE, M. (1992) **The Evolution of Asexual Reproduction in Plants.** Chapman and Hall, London. Ohkubo, T., Tanimoto, T. and Peters, R. (1996) Response of Japanese beech (*Fagus japonica* Maxim.) sprouts to canopy gaps. **Vegetatio** 124, 1–8.

MONQUERO, P. A; CHRISTOFFOLETI, P. J. **Banco de sementes de plantas daninhas e herbicidas como fator de seleção.** Bragantia, v. 64, p. 203-209, 2005.

MUZIK, T. J., **Weed Biology and Control.** New York, EUA: McGraw-Hill, 1970. 273 p.

NAKAGAWA, J. **Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas.** In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. (Org.). Testes de vigor em sementes. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 49-85.

NAYLOR, R. E. L. (Ed.). **Weed management handbook.** John Wiley & Sons, 2008.

NICOLAI. M. Capacidade competitiva. **Revista cultivar grandes culturas:** Feijão, n. 178, 14 de março de 2014. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/revistas/grandes-culturas>. Acesso em: 25 jan 2025.

OLIVEIRA JR, R. S. **Introdução ao controle químico.** In: OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE M. H. Biologia e manejo de plantas daninhas. 1. ed. Curitiba: Omnipax, 2011.

OLIVEIRA JR. R.S.; INOUE, M. H. **Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas.** In: OLIVEIRA JR.; R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. Biologia e Manejo de Plantas Daninhas. Edição dos autores. Curitiba: Omnipax, 2011, cap. 10, p. 244-258.

OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas.** 1. ed. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 1-36.

OLIVEIRA, A.R.; FREITAS, S.P. Phyto-sociological survey of weed in sugarcane crop areas. **Planta Daninha**, v. 26, p. 33-46, 2008.

OLIVEIRA, R. S. G. P. *et al.* Efeito de subdoses de glyphosate sobre germinação e desenvolvimento inicial do feijoeiro. **Revista Eletrônica de Biologia**, Sorocaba, v. 6, n. 1, p. 35-47, 2013.

PASQUET, R. S. Morphological study of cultivated cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Importance of ovule number and definition of cv gr Melanophthalmus. **Agronomie**, v. 18, n. 1, p. 61-70, 1998.

PETERSON, D. E. *et al.* **Herbicide mode of action.** Topeka: Kansas State University, 2001, p. 24.

PITELLI, R. A. Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. **Série técnica IPEF**, v. 4, n. 12, p. 1-24, 1987.

PITELLI, R. A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe agropecuário**, v. 11, n. 129, p. 16-27, 1985.

PITELLI, R. A. O termo planta-daninha. **Planta Daninha**, v.33, n.3, 2015.

PITELLI, R. A.; PAVANI, M. C. M. D. **Feralidade e transgeníese**. In: BORÉM, A. (Org.). Biotecnologia e Meio Ambiente. Viçosa: Folha de Viçosa, 2004. p.363-384.

PITELLI, R. A.; PITELLI, R. L. C. M. Biologia e ecofisiologia das plantas daninhas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Eds.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p.29-56.

PITELLI, R. A; DURIGAN, J. C; ROSSELLO, R. D. Ecologia das plantas daninhas no sistema de plantio direto. **ROSSELLO, RD Siembra directa en el cono sur. Montevideo: PROCISUR**, p. 203-210, 2001.

PITELLI, R.A. & DURIGAN, J. C. – Terminologia para períodos de controle e de convivência das plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. In: PITELLI, R. A. Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. **Série técnica IPEF**, v. 4, n. 12, p. 1-24, 1987.

PITELLI, R.A. A vegetação ripária vista como ecótono e sua importância. In: BARBOSA, L. M. (Coord.). Manual para recuperação de áreas degradadas: com ênfase em matas ciliares do interior paulista. São Paulo: Instituto de Botânica, 2007. p.29-36.

RADOSEVICH, S.; HOLT, J.; GHERSA, C. Physiological aspects of competition. 1996. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. UFV: Viçosa, 2007. 367 p. p. 39-40.

REIGOSA, M. J.; PEDROL, N.; GONZÁLEZ, L. **Allelopathy**: a physiological process with ecological implications. Holanda: Springer. pp. 127-139, 2006.

REZENDE, C. P.; PINTO, J. C.; ENEMGELISTA, A. R.; SANTOS, I. P. A. **Alelopatis e suas interações na formação e manejo de pastagens plantas forrageiras**. Lavras: UFLA. 18 p. (Boletim Agropecuário), 2003.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Viena: **R Foundation for Statistical Computing**, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 05 jan. 2025.

RICE, E. L (1979) Allelopathy: an update. The Botanical Review 45: 15-109. In: SANTOS, T. A; SILVA, F. F. Plantas daninhas situadas em áreas de reflorestamento no Brasil: Uma revisão de literatura. **Diversidade e Gestão**, v. 2, n. 1, p. 2-16, 2018.

RIZZARDI, M. A. et al. **Resistência de plantas aos herbicidas inibidores da acetolactato sintase**. Planta Daninha, v. 20, p. 149-158, 2002.

ROBERTS, H. A. Seed banks in the soil. In: ROBERTS, H. A. (Ed.). **Advances in Applied Biology**, 1981. In: MONQUERO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Banco de sementes de plantas daninhas e herbicidas como fator de seleção. **Bragantia**, v. 64, p. 203-209, 2005.

ROCHA, P. R. R.; BARRETO, G. F.; AUGUSTI, M. L. **Herbicidologia**. In: ALMEIDA, E. I. B.; FERRÃO, G. D. E. Fundamentos em biologia e manejo de plantas daninhas. 1. ed. São Luiz, EDUFMA, 2022. 215 p.

ROMAN, E. S. et al. **Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação**. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 2005. 152 p.

ROSSETTO, R.; ANTONIO DIAS SANTIAGO, A. D. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Plantas daninhas**, 2005. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/manejo/plantas-daninhas>. Acesso em: 28 de out. 2024.

RUBERT, J. et al. **Impactos da deriva de herbicidas mimetizadores de auxina no crescimento e fisiologia de mudas de noqueira-pecã e oliveira**. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, 2010.

SALGADO, T. P. et al. Interferência das plantas daninhas no feijoeiro carioca. **Planta daninha**, v. 25, p. 443-448, 2007.

SALVADOR, F. L. **Manejo e interferência das plantas orgânicas em soja: uma revisão**. R.Fac. Zootc. Veterano. Agron., v. 2, pág. 58-75, 2006.

SANTOS, G. et al. Carryover proporcionado pelos herbicidas S-metolachlor e trifluralin nas culturas de feijão, milho e soja. **Planta Daninha**, v. 30, n. 4, p. 827–834, out. 2012.

SANTOS, T. A; DA SILVA, F. F. Plantas daninhas situadas em áreas de reflorestamento no Brasil: Uma revisão de literatura. **Diversidade e Gestão**, v. 2, n. 1, p. 2-16, 2018.

SAUER, H.; WILD, A.; RÜHLE, W. The effect of phosphinothrinicin (glufosinate) on photosynthesis II. The causes of inhibition of photosynthesis. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 42, n. 3, p. 270-278, 1987.

SCHULTZ, A. R. **Estudo prático da botânica geral**. 3. ed. Porto Alegre. Globo, 1968. 230 p.

SENSEMAN, S. A. **Herbicide Handbook**. 9. ed. Lawrence, EUA: Weed Science Society of America, 2007.

SHANER, Dale L. Herbicide safety relative to common targets in plants and mammals. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 60, n. 1, p. 17-24, 2004.

SILVA, A. A. P. et al. Interference periods among weeds and soybean rr tm crops in the western center area of the brazilian state of paraná. **Planta Daninha**, v. 33, p. 707-716, 2015.

SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. UFV: Viçosa, 2007.

367 p.

SILVA, A.A. et al. Biologia de plantas daninhas. In: SILVA, A.A. et al. **Proteção de plantas:manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Editora Cead, 2010. p. 4-15.

SILVA, ILCA. P. DE F. E. et al. Herbicidas inibidores do fotossistema II–Parte I. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, v. 7, n. 1, p. 1-11, 2013.

SILVA, J. F.; ALBERTINO, S. M. F. Manejo de plantas daninhas. In: ZILLI, J. E.; VILARINHO, A. A.; ALVES, J. M. A. **A cultura do feijão-caipi na Amazônia brasileira**. Boa Vista: Embrapa Roraima, p. 223-243. 2009.

SIMPSON, R. L.; LECK, M.A.; PARKER, V. T. Seed banks: General concepts and methodological issues. In: MONQUERO, P. A; CHRISTOFFOLETI, P. J. Banco de sementes de plantas daninhas e herbicidas como fator de seleção. **Bragantia**, v. 64, p. 203-209, 2005.

SINGH, B. B. **Recent progress in cowpea genetics and breeding**. In: I International Conference on Indigenous Vegetables and Legumes. Prospectus for Fighting Poverty, Hunger and Malnutrition 752. 2007. p. 69-76.

SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA – SIDRA. Série Histórica das culturas temporárias e permanentes 1974-2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 24 jan. 2025.

SMARTT, J. **Grain legumes: evolution and genetic resources**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 333 p.

SMITH, A. E.; SECOY, D. M. Forerunners of pesticides in classical Greece and Rome. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 23, n. 6, 1975.

SPRANKLE, P.; MEGGITT, W. F.; PENNER, D. Absorption, action, and translocation of glyphosate. **Weed Science**, v. 23, n. 3, p. 235-240, 1975.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. Ed, p.888, 2017.

TAKANO, H. K. et al. ACCase-inhibiting herbicides: mechanism of action, resistance evolution and stewardship. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 1, 2020.

TATENO, M.; BRABHAM, C.; DEBOLT, S. Cellulose biosynthesis inhibitors—a multifunctional toolbox. **Journal of experimental botany**, v. 67, n. 2, p. 533-542, 2016.

THILL, D. **Growth regulator herbicides. Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, p. 267-291, 2003.

THOMPSON, K.; GRIME, J. P. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. **The Journal of Ecology**, p. 893-921, 1979.

TILLMANN, M. Â. A.; WEST, S. Identification of genetically modified soybean seeds resistant to glyphosate. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 3, p. 336–341, maio 2004.

VEERASEKARAN, P.; KIRKWOOD, R. C.; PARRELL, E. W. Studies of the mechanism of

action of asulam in plants. Part I: Antagonistic interaction of asulam and 4-aminobenzoic acid. **Pesticide Science**, v. 12, n. 3, p. 325-329, 1981.

VELINI, E. D.; DUKE, S. O.; TRINDADE, M. L. B.; MESCHEDE, D. K.; CARBONARI, C. A. Modo de ação do glyphosate. In: VELINI, E. D.; MESCHEDE, D. K.; CARBONARI, C. A.; TRINDADE, M. L. B. **Glyphosate**. Botucatu: FEPAF, 2009. p. 113-133.

VICTORIA FILHO, R. **Manejo integrado de plantas daninhas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*)**. In: SEMINÁRIO SOBRE PRAGAS, DOENÇAS E PLANTAS DANINHAS DO FEIJOEIRO, 5., 1994, Piracicaba, SP. Anais. Piracicaba: ESALQ, 1994. p.100-111.

VIDAL, R. A. *et al.* **Mecanismos de ação dos herbicidas**. Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas, v. 10, p. 235-256, 2014.

VIDAL, R. A. **Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas**. Porto Alegre: R.A. Vidal, P.165. 1997.

VIVIAN, R. Silva. A. A. *et al.* Dormência em sementes de plantas daninhas como mecanismo de sobrevivência: breve revisão. **Planta daninha**, v. 26, p. 695-706, 2008.

WELLER, S. C. **Principles of selective weed control with herbicides**. In: Herbicide action: an intensive course on the activity, selectivity, behavior, and fate of herbicides in plants and soils. West Lafayette: Purdue University, p. 112-134, 2003.

WILLIAM, R. D. Competição entre a tiririca (*Cyperus rotundus*) e o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). **R. Ceres**, v. 20, n. 112, p. 424-432, 1973.

WOODWARD, A. W.; BARTEL, B. Auxin: regulation, action, and interaction. **Annals of botany**, v. 95, n. 5, p. 707-735, 2005.

XAVIER, G. R. *et al.* Especificidade simbiótica entre rizóbios e acessos de feijão-caupi de diferentes nacionalidades. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 1, p. 25-33, 2006.

YAMADA, T.; CASTRO, P. R de C. Efeitos do glifosato nas plantas: implicações fisiológicas e agronômicas. **Informações agronômicas**, v. 119, p. 1-32, 2007.

ZABLOTOWICZ, R. M.; REDDY, K. N. Impact of glyphosate on the *Bradyrhizobium japonicum* symbiosis with glyphosate-resistant transgenic soybean: a minireview. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, n. 3, p. 825-831, 2004.

ZAMBOLIM, L.; ZUPPI DA CONCEIÇÃO, M.; SANTIAGO, T. O. **O que os engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários**. Viçosa: UFV, 2003, 376 p.

ZHOU, Q. *et al.* Action mechanisms of acetolactate synthase-inhibiting herbicides. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 89, n. 2, p. 89-96, 2007.

ZIMDAHL, R. L. **Fundamentals of weed science**. Academic press. 2018, cap. 2, p. 3-8.

ZOLLINGER, R. K.; KELLS, J. J. Perennial sowthistle (*Sonchus arvensis*) interference in

soybean (*Glycine max* L.) and dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Weed Technol.**, v. 7, n. 1, p. 52-57, 1993.