

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DANIEL FERREIRA

**POTENCIAL ALELOPÁTICO DE PLANTAS DE COBERTURA NA SUPRESSÃO
DE PLANTAS DANINHAS E NO DESENVOLVIMENTO DO FEIJOEIRO**

DOIS VIZINHOS

2026

DANIEL FERREIRA

**POTENCIAL ALELOPÁTICO DE PLANTAS DE COBERTURA NA SUPRESSÃO
DE PLANTAS DANINHAS E NO DESENVOLVIMENTO DO FEIJOEIRO**

**Allelopathic potential of cover crops for weed suppression and common bean
development**

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

Orientador(a): Pedro Valerio Dutra De Moraes

Coorientador(a): Serinei Cesar Grigolo

DOIS VIZINHOS

2026



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

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

DANIEL FERREIRA

**POTENCIAL ALELOPÁTICO DE PLANTAS DE COBERTURA NA SUPRESSÃO
DE PLANTAS DANINHAS E NO DESENVOLVIMENTO DO FEIJOEIRO**

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

Data de aprovação: 25/junho/2026

Pedro Valério Dutra de Moraes
Doutorado em Fitossanidade
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Natielly Pereira da Silva
Mestrado em Produção Vegetal
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Simone Neumann Wendt
Doutorado em Processos Biotecnológicos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

DOIS VIZINHOS

2026

RESUMO

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de grande importância socioeconômica no Brasil, destacando-se pela ampla adaptação às condições de cultivo e pela relevância na segurança alimentar. Entretanto, a interferência de plantas daninhas limita sua produtividade, especialmente em sistemas sustentáveis com restrição ao uso de herbicidas. Nesse cenário, a alelopatia surge como alternativa para o manejo dessas espécies, utilizando plantas de cobertura capazes de liberar compostos que afetam sua germinação e crescimento. Espécies como chia (*Salvia hispanica* L.), gergelim (*Sesamum indicum* L.) e quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) apresentam potencial para estratégias agroecológicas devido à produção de biomassa e à capacidade de supressão de plantas daninhas. O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de plantas de cobertura na supressão de plantas daninhas e seus efeitos sobre o desenvolvimento do feijoeiro. O experimento foi conduzido em condições de campo, na fazenda Experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, município de Dois Vizinhos - Paraná. Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta predomínio de clima subtropical úmido, com temperatura mais fria variando entre 14 °C e 22 °C, sendo o solo da área classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, de textura argilosa, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos Com delineamento em blocos casualizados, com três repetições. Os tratamentos foram: chia, gergelim e quinoa, cultivados isoladamente e em consórcio. Foram avaliadas matéria seca das plantas de cobertura e a dinâmica da comunidade infestante por meio da matéria seca aos 30 e 60 dias após a emergência (DAE) e variáveis agronômicas da cultura, incluindo altura de plantas aos 30 e 60 DAE, altura de inserção da primeira vagem. Previamente às análises, foram validados os pressupostos biométricos dos modelos estatísticos por meio dos testes de normalidade e homogeneidade de variâncias, confirmando a adequação dos dados à análise de variância. Os resultados demonstraram efeito significativo dos tratamentos sobre a matéria seca da comunidade infestante aos 30 e 60 DAE. O tratamento de chia promoveu redução superior a 54% na biomassa seca de plantas daninhas aos 60 DAE em comparação a testemunha com maior infestação, evidenciando elevado potencial supressivo. Por outro lado, as variáveis morfológicas do feijoeiro, como altura de plantas e altura de inserção da primeira vagem, não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, indicando estabilidade fenotípica da cultura mesmo sob diferentes níveis de interferência das plantas daninhas. Conclui-se que o uso de plantas de cobertura com potencial alelopático representa uma estratégia promissora para o manejo sustentável de plantas daninhas na cultura do feijão, contribuindo para a redução da infestação sem comprometer o desenvolvimento vegetativo da cultura. Os resultados reforçam o potencial dessas espécies como ferramenta para diminuição da dependência de insumos químicos e fortalecimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis.

Palavras-chave: competição intraespecífica; biomassa vegetal; sustentabilidade; dinâmica populacional de infestantes.

ABSTRACT

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a crop of great socioeconomic importance in Brazil due to its broad adaptation to different growing conditions and its key role in food security. However, weed interference limits crop productivity, particularly in sustainable production systems where herbicide use is restricted. In this context, allelopathy has emerged as a promising alternative for weed management through the use of cover crops capable of releasing bioactive compounds that affect weed germination and growth. Species such as chia (*Salvia hispanica* L.), sesame (*Sesamum indicum* L.), and quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) have shown considerable potential for agroecological systems because of their high biomass production and weed suppression capacity. The present study aimed to evaluate the performance of cover crops in weed suppression and their effects on common bean development. The experiment was conducted under field conditions at the Experimental Farm of the Federal University of Technology – Paraná (UTFPR), Dois Vizinhos Campus, located in the municipality of Dois Vizinhos, Paraná, Brazil. According to the Köppen climate classification, the region has a humid subtropical climate, with mean temperatures ranging from 14 to 22 °C. The soil was classified as a typical dystrophic Red Latosol (Oxisol) with a clayey texture according to the Brazilian Soil Classification System. The experimental design consisted of a randomized complete block design with three replications. The treatments included chia, sesame, and quinoa grown both as monocultures and in intercropping systems. The evaluated variables included cover crop dry biomass, weed community dynamics through weed dry biomass at 30 and 60 days after crop emergence (DAE), and agronomic traits of common bean, including plant height at 30 and 60 DAE and the height of first pod insertion. Prior to statistical analyses, the biometric assumptions of the statistical models were verified using normality and homogeneity of variance tests, confirming the suitability of the data for analysis of variance (ANOVA). The results demonstrated a significant effect of the treatments on weed community dry biomass at both 30 and 60 DAE. The chia treatment promoted a reduction of more than 54% in weed dry biomass at 60 DAE compared with the untreated control, which exhibited the highest weed infestation, demonstrating its high suppressive potential. In contrast, the morphological characteristics of common bean, such as plant height and first pod insertion height, did not differ significantly among treatments, indicating phenotypic stability of the crop despite different levels of weed interference. It can be concluded that the use of cover crops with allelopathic potential represents a promising strategy for sustainable weed management in common bean cultivation, contributing to weed suppression without compromising the vegetative development of the crop. These findings reinforce the potential of these species as an effective tool to reduce dependence on chemical inputs and promote more sustainable agricultural production systems.

Keywords: intraspecific competition; plant biomass; sustainability; weed population dynamics.

SUMÁRIO

1. Introdução	13
2. Objetivo	17
2.1 Objetivo geral	17
2.2 Objetivos específicos	17
3. Revisão de literatura	18
3.1 Plantas de cobertura	18
3.1.1 Gergelim (<i>Sesamum Indicum L.</i>)	19
3.1.2 Chia (<i>Salvia hispanica L.</i>)	21
3.1.3 Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>)	23
3.2 Janela de cultivo	24
3.3 Alelopatia	25
3.4 Feijão-comum (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	27
4. Material e métodos	29
5. Resultados e Discussão	31
6. Conclusão	37
Referências	38

1. INTRODUÇÃO

A agricultura contemporânea desempenha um papel insubstituível na garantia da segurança alimentar global, provendo os recursos essenciais para uma população mundial em constante crescimento. Contudo, as práticas agrícolas intensivas que caracterizaram as últimas décadas, impulsionadas pela Revolução Verde, trouxeram consigo um custo ambiental e social considerável. O uso indiscriminado de fertilizantes minerais, pesticidas sintéticos e a mecanização excessiva levaram à degradação de solos, contaminação de ecossistemas hídricos, perda de biodiversidade e, em muitos casos, à erosão da saúde humana (CRUZ-SILVA et al., 2016; PIRES; OLIVEIRA, 2011; ROSA et al., 2008). Tais consequências impulsionam uma reavaliação crítica dos modelos de produção e a urgência de transitar para sistemas agrícolas que não apenas mantenham, mas aprimorem a capacidade produtiva dos ecossistemas. A sustentabilidade, nesse contexto, transcende a mera otimização de recursos, englobando a resiliência dos sistemas produtivos e a capacidade de satisfazer as necessidades das gerações presentes sem comprometer as futuras.

Diante dos desafios impostos pela agricultura convencional, a agricultura sustentável emerge como um paradigma alternativo que busca harmonizar a produção com os ciclos naturais, enfatizando a saúde do solo, do ecossistema e das pessoas. Este sistema fundamenta-se na reciclagem de resíduos de origem orgânica e na minimização do emprego de recursos não renováveis, priorizando o manejo ecológico da fertilidade do solo e do controle de pragas e doenças (PEREIRA et al., 2015).

As vantagens da produção sustentável são múltiplas: redução da dependência de insumos externos, diminuição dos custos de produção, menor desgaste do solo e o fornecimento de alimentos com menor índice de toxicidade, contribuindo para a manutenção do equilíbrio ambiental (ORMOND et al., 2002). Embora a transição para sistemas sustentáveis possa apresentar entraves, como a necessidade de reorientação da pesquisa e a adaptação de pacotes tecnológicos às condições locais (ORMOND et al., 2002), o crescente interesse do consumidor por alimentos saudáveis e ambientalmente responsáveis têm fortalecido este setor, resultando em um aumento da procura e, muitas vezes, em maior valor comercial (FERNANDES et al., 2015; PEREIRA et al., 2015).

A cultura do feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) detém uma posição de destaque no cenário agrícola mundial e nacional, sendo reconhecida como uma das principais fontes de proteína vegetal e de segurança alimentar para milhões de pessoas (FERNANDES et al., 2015). No Brasil, a cultura do feijão é de extrema relevância social e econômica, estando presente em um vasto número de estabelecimentos rurais, com a agricultura familiar contribuindo

significativamente para sua produção (FERNANDES et al., 2015). A produção nacional atingiu, com informações atualizadas pela Conab a safra 2024/2025 foi de 3,3 milhões de toneladas, assim demonstrando sua adaptabilidade a diversos ambientes e níveis tecnológicos de produção. Além dos tipos comerciais mais comuns, como o carioca e o preto, há um mercado crescente para feijões de grãos especiais, que oferecem nichos de mercado e oportunidades de maior valorização (FERNANDES et al., 2015).

A viabilidade do cultivo de feijão em sistemas sustentáveis tem sido demonstrada, inclusive com produtividades comparáveis às do sistema convencional em algumas condições (PEREIRA et al., 2015). No entanto, a adoção de tais sistemas exige a identificação de cultivares mais adaptadas e, crucialmente, o desenvolvimento de estratégias eficazes para o manejo integrado, especialmente no controle de organismos considerados pragas, doenças e, notavelmente, as plantas daninhas.

As plantas daninhas representam um dos mais antigos e persistentes desafios à produção agrícola, sendo capazes de causar perdas significativas na produtividade das culturas, estimadas em até 10% globalmente (PIRES; OLIVEIRA, 2011). Sua capacidade de competição por luz, água, nutrientes e espaço, aliada à rápida proliferação e adaptabilidade, as torna adversários formidáveis.

Historicamente, o controle químico, por meio de herbicidas sintéticos, tem sido a principal ferramenta de manejo, oferecendo uma solução aparentemente eficiente e de baixo custo operacional. Contudo, essa dependência tem gerado uma série de problemas, como o aumento dos custos de produção, a seleção de populações de plantas daninhas resistentes, e os já mencionados impactos ambientais e na saúde humana devido à poluição de solos e águas (CRUZ-SILVA et al., 2016; PIRES; OLIVEIRA, 2011; ROSA et al., 2008). A conscientização sobre os efeitos deletérios desses agroquímicos tem intensificado a demanda por agentes biologicamente renováveis e métodos de controle que se alinhem com os princípios da agricultura sustentável e orgânica.

Em resposta à busca por alternativas mais ecológicas, o fenômeno da alelopatia tem ganhado destaque como uma ferramenta promissora para o manejo de plantas daninhas. A alelopatia pode ser definida como a capacidade de um organismo liberar compostos químicos (aleloquímicos) no ambiente, os quais exercem efeitos benéficos ou adversos sobre o crescimento e desenvolvimento de outras plantas ou microrganismos (CAMPOS et al., 2021; CRUZ-SILVA et al., 2016). Diferentemente da competição, que implica na remoção de recursos do ambiente, a alelopatia atua pela introdução de substâncias químicas que interferem nos processos fisiológicos dos organismos receptores (PIRES; OLIVEIRA, 2011). Esses

aleloquímicos, que podem ser alcalóides, benzoxazinonas, derivados do ácido cinâmico, coumarinas, entre outros, são comprovadamente tóxicos para as plantas, mas atuam com seletividade, abrindo portas para o desenvolvimento de herbicidas naturais (PIRES; OLIVEIRA, 2011).

A manipulação da alelopatia nos agroecossistemas oferece diversas estratégias para o controle de plantas daninhas, incluindo o uso de rotação de culturas, consórcios, adubação verde e, de forma notável, o emprego de culturas de cobertura (CRUZ-SILVA et al., 2016; PIRES; OLIVEIRA, 2011). Os aleloquímicos podem ser liberados no ambiente por meio de processos como volatilização, lixiviação, exsudação radicular e decomposição de resíduos vegetais no solo (CRUZ-SILVA et al., 2016). Compreender esses mecanismos é crucial para otimizar a implementação de práticas agrícolas que se beneficiem do potencial alelopático.

As espécies de cobertura são cultivadas não para colheita, mas para proteger e melhorar o solo, além de contribuir para o controle de plantas daninhas. Seu papel na liberação de compostos alelopáticos é de particular interesse em sistemas sustentáveis. Ao cobrir o solo, essas plantas não apenas competem fisicamente com as daninhas, mas também liberam aleloquímicos que podem inibir a germinação de sementes ou o desenvolvimento de plântulas de espécies indesejadas (CRUZ-SILVA et al., 2016).

Estudos têm investigado o potencial alelopático de diversas espécies. Por exemplo, extratos aquosos de folhas e raízes de gergelim (*Sesamum indicum* L.) foram avaliados quanto à sua capacidade de afetar a germinação e o desenvolvimento de plântulas de fedegoso (*Senna occidentalis* L.) e capim-braquiária (*Brachiaria brizantha*) (ROSA et al., 2008). Os resultados indicaram que o extrato aquoso de folhas de gergelim apresentou potencial alelopático no desenvolvimento de plântulas de capim-braquiária, afetando principalmente o comprimento do hipocótilo e da radícula, componentes mais sensíveis aos efeitos alelopáticos (ROSA et al., 2008). Outro exemplo intrigante é o da tiririca (*Cyperus rotundus* L.), considerada uma das plantas daninhas mais agressivas globalmente devido à sua capacidade de competição e, notavelmente, aos seus efeitos alelopáticos (CAMPOS et al., 2021).

Extratos aquosos de tubérculos de tiririca demonstraram ação deletéria na germinação de sementes de *Salvia hispanica* L. (chia), com os efeitos negativos sendo inversamente proporcionais às concentrações do extrato (CAMPOS et al., 2021). Embora a tiririca seja uma daninha, seu potente mecanismo alelopático exemplifica a força desses compostos e a seletividade de suas ações, sugerindo que o conhecimento aprofundado desses efeitos pode ser transposto para o manejo de plantas de cobertura (CAMPOS et al., 2021). A eficácia e o modo de ação dos aleloquímicos são influenciados por fatores como a forma de preparo, o método de

aplicação e a concentração dos extratos, além de uma interação complexa entre fatores ambientais e genéticos (CAMPOS et al., 2022; CRUZ-SILVA et al., 2016).

A variabilidade dos efeitos alelopáticos em função das condições ambientais, do tipo de solo, da disponibilidade de nutrientes e das interações entre as espécies doadoras e receptoras (CRUZ-SILVA et al., 2016) demanda pesquisas direcionadas para que se possa desenvolver recomendações de manejo precisas e eficientes. A integração de espécies de cobertura com comprovado potencial alelopático na cultura do feijão pode representar um avanço significativo na redução da dependência de herbicidas, contribuindo para a resiliência do sistema, a saúde do solo e a qualidade do produto final. Este estudo busca, portanto, preencher essa lacuna, fornecendo dados empíricos e análises que permitirão uma melhor compreensão e aplicação da alelopatia no manejo de plantas daninhas em um dos cultivos mais importantes para a segurança alimentar.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial supressivo de diferentes espécies de plantas de cobertura sobre a supressão de plantas daninhas e seus efeitos no desenvolvimento do feijoeiro.

2.2 Objetivos específicos

Identificar espécies de plantas de cobertura com maior capacidade de liberação de compostos aleloquímicos, como chia (*Salvia hispanica* L.), gergelim (*Sesamum indicum* L.) e quinoa (*Chenopodium quinoa*), bem como a combinação dessas três espécies, e relacionar seus efeitos sobre a germinação e o crescimento de plantas daninhas.

Quantificar a biomassa produzida pelas diferentes coberturas vegetais e correlacionar essa produção com o nível de supressão das principais plantas daninhas da cultura do feijão.

Avaliar o impacto das coberturas com potencial alelopático no crescimento.

Propor estratégias de manejo agroecológico integrando o uso de plantas de cobertura alelopáticas como alternativa ao controle químico de plantas daninhas em sistemas sustentáveis de produção de feijão.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Plantas de cobertura

O manejo de plantas daninhas, representa um dos maiores desafios na agricultura moderna, e ainda mais em sistemas sustentáveis, onde o uso de herbicidas sintéticos é proibido. As perdas de produtividade causadas pela competição por recursos como luz, água e nutrientes podem ser significativas. Nesse contexto, a utilização de plantas de cobertura surge como uma alternativa promissora e sustentável para o controle dessas infestantes.

Formar uma camada de cobertura morta (mulching) na superfície do solo oferece uma abordagem mais ecológica, que não apenas suprime o crescimento das plantas daninhas, mas também contribui para a melhoria da qualidade do solo, adição de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (CARVALHO et al., 2021).

A eficácia dessa prática reside em dois mecanismos principais: o efeito físico e o efeito alelopático. O efeito físico é a barreira que a massa da palhada forma, impedindo a passagem de luz e o crescimento das plântulas de infestantes. Já o efeito alelopático envolve a liberação de compostos bioquímicos (aleloquímicos) pelas plantas de cobertura em decomposição, que podem inibir a germinação e o desenvolvimento de outras plantas (CARVALHO et al., 2021). A combinação desses mecanismos torna as plantas de cobertura uma ferramenta poderosa no manejo integrado de plantas invasoras.

Lamego et al (2013), apresenta que devido o poder de adaptabilidade e resistência das plantas daninhas no ambiente, há a necessidade de manejos integrados para o controle, inserindo nesse modelo além da aplicação de herbicidas sintéticos, espécies de plantas de cobertura que possuam efeitos alelopáticos, para que o grau de infestação seja minimizado e atenda um controle desejado.

O estudo de Carvalho et al. (2021) reafirma a importância das plantas de cobertura como uma ferramenta viável e eficaz para o controle de plantas infestantes em sistemas de produção orgânica. A pesquisa destaca que a escolha da espécie ou do consórcio de plantas de cobertura é crucial para otimizar os resultados, e que a massa seca da palhada é um fator determinante na supressão das invasoras.

A palha mantida sobre o solo no sistema de semeadura direta de culturas agrícolas pode afetar a emergência das plantas daninhas pelos processos físico, biológico e o químico (alelopático), com possíveis interações entre eles (TABAGLIO; MAROCCO; SCHULZ, 2013). As plantas de cobertura de solo são de extrema importância no manejo integrado de plantas

daninhas, se conduzidas adequadamente permitem diminuir a quantidade de aplicação, a dosagem e a resistência delas aos herbicidas (MALIK et al., 2008).

Em segundo lugar, sugere que consórcios específicos podem ser mais benéficos do que culturas isoladas, possivelmente devido à complementaridade de seus efeitos físicos e alelopáticos. A capacidade de adaptabilidade e enraizamento da maioria das culturas de cobertura de solo permite a elas, aprofundar-se mesmo em solos de alta densidade, mobilizando nutrientes que se encontram nos perfis inferiores do solo e outros compostos químicos, acumulando na parte aérea para posteriormente liberá-los na superfície através da decomposição da palhada (JABRAN, et al., 2015).

Cada planta de cobertura apresenta capacidade e forma diferenciada na inibição das plantas daninhas. Em estudos realizados por Moraes et al. (2011) com as culturas de cobertura canola, nabo forrageiro, trevo-vesiculososo e azevém, utilizando duas formas de tratamento, sendo a palha das culturas incorporadas ou não ao solo e também em diversos níveis de quantidade de palha para o controle de milhã (*Digitaria spp*), apresentaram-se resultados distintos entre as culturas de cobertura e os tratamentos.

A busca por soluções sustentáveis para os desafios da agricultura é contínua. Existem muitas outras espécies que podem assumir papéis importantes nos sistemas de rotação de culturas, podendo ser empregadas com a finalidade de colheita de grãos, forrageiras e cobertura de solo para minimização da incidência de plantas daninhas. Ao utilizar culturas adaptadas à região, essas podem ser excelente alternativa para diversificação dos agroecossistemas, pelo incremento de biomassa, pela cobertura de solo e por apresentar efeitos alelopáticos sobre as plantas daninhas (JABRAN, et al., 2015).

3.1.1 Gergelim (*Sesamum indicum* L.)

A cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.), uma oleaginosa pertencente à família Pedaliaceae, tem demonstrado uma importância econômica crescente no cenário agrícola global e, em particular, no Brasil Reconhecida por seu elevado potencial de produção de óleo e a diversidade de seus subprodutos.).

O gergelim apresenta um rendimento médio de grãos no Brasil de 640 kg por hectare, superando a média mundial de 480 kg por hectare, o que ressalta o potencial produtivo da cultura em solo e clima brasileiros (Cerca de 70% da produção de grãos é destinada ao processamento para a obtenção de óleo e produtos alimentícios, evidenciando seu papel crucial na indústria As sementes de gergelim são ricas, contendo aproximadamente 50% de óleo em sua composição, o que as torna valiosas para diversas aplicações (MULLER et al., 2016).

No Brasil, o cultivo do gergelim tem se expandido notavelmente nos últimos anos. Entre as safras de 2022/2023 e 2023/2024, a área plantada aumentou 83%, passando de 361 mil para 660 mil hectares. Consequentemente, a produção cresceu 107%, saltando de 174 mil para 361 mil toneladas (NEVES, 2024).

A cultura prospera em climas tropicais quentes e requer precipitações pluviais entre 400 e 600 mm, bem distribuídas ao longo do ciclo, com uma demanda inicial de cerca de 160 a 180 mm nos primeiros meses (MULLER et al., 2016).

Adicionalmente, o gergelim é facilmente incorporado em mecanismos de rotação e consorciação de culturas, contribuindo nos benefícios na produtividade, é uma prática que promove a redução de pragas, tanto no gergelim como nas demais culturas que entram no esquema de rotação, auxilia no controle de ervas daninhas, reduz a erosão e mantém a matéria orgânica no solo. As culturas que normalmente são usadas em rotação com o gergelim são: algodão, milho, feijão, soja, amendoim, mamona e sorgo. Exemplos de rotação: feijão-gergelim, milho-gergelim e ou mamona-amendoim-gergelim. No caso de rotação com uma leguminosa (soja ou amendoim) (QUEIROGA et al., 2010).

Uma das principais dificuldades é a perda de grãos por deiscência, ou seja, a abertura espontânea das cápsulas que contêm as sementes (MULLER et al., 2016). Isso exige uma atenção meticulosa para determinar o ponto exato de colheita, que idealmente deve ocorrer quando hastes, folhas e cápsulas atingirem o amarelecimento completo, mas antes que as cápsulas estejam totalmente abertas (MULLER et al., 2016).

Outro desafio reside na complexidade dos processos de colheita, seja ela manual ou mecanizada, que também demandam uma considerável mão de obra (MULLER et al., 2016). A qualidade do produto final é fundamental para alcançar melhores preços de mercado; os grãos colhidos devem apresentar um padrão de pureza de 99,96%, completamente livres de agentes externos como insetos, areia e folhas (MULLER et al., 2016).

O gergelim se estabelece como uma cultura com grande potencial para a produção de óleo e subprodutos valiosos, com facilidade de adaptação a diversas condições de cultivo no Brasil, sendo particularmente promissora para a agricultura familiar (MULLER et al., 2016). No entanto, o crescimento contínuo da área cultivada no país e as dificuldades inerentes à colheita ressaltam a necessidade premente de investimentos em pesquisa.

É fundamental que novos estudos abordem inovações, tecnologias e aprimoramento do manejo agrônomo em campo para superar os desafios atuais, como as perdas na colheita e a otimização da adubação conforme as condições de solo (MULLER et al., 2016).

A rotação de culturas, além dos benefícios na produtividade, é uma prática que promove a redução de pragas, tanto no gergelim como nas demais culturas que entram no esquema de rotação, auxilia no controle de ervas daninhas, reduz a erosão e mantém a matéria orgânica no solo. As culturas que normalmente são usadas em rotação com o gergelim são: algodão, milho, feijão, soja, amendoim, mamona e sorgo. Exemplos de rotação: feijão-gergelim, milho-gergelim e ou mamona-amendoim-gergelim. No caso de rotação com uma leguminosa (soja ou amendoim) (QUEIROGA et al., 2010).

Outro aspecto relevante é a tolerância do gergelim a solos de baixa fertilidade e moderadamente salinos. Estudos demonstram que essa cultura é capaz de manter níveis satisfatórios de produtividade mesmo em condições adversas, desde que práticas de manejo adequadas sejam implementadas (SILVA, 2021).

3.1.2 Chia (*Salvia hispanica* L.)

Atualmente a Chia é cultivada especialmente no México, Bolívia, Argentina, Equador, Austrália e Guatemala, evidenciando que a espécie tem um grande potencial a ser cultivada em larga escala. Planta herbácea, anual, com 1 a 1,5 m de altura, talos quadrangulares, acanelados, com vilosidades, folhas opostas, pecioladas, serrilhadas e flores reunidas em espigas auxiliares ou terminais (TOSCO, 2004)

A *Salvia hispanica* L. faz parte da extensa família Lamiaceae, que compreende cerca de 300 gêneros e mais de 7500 espécies distribuídas globalmente em regiões tropicais e temperadas (MIGLIAVACCA et al., 2014). O gênero *Salvia* é o mais numeroso dessa família, com aproximadamente 900 espécies.

A maioria da chia cultivada é de sementes pretas, possuindo sementes ovais e, em geral, as sementes brancas são um pouco maiores do que as negras, sendo comprimento, largura e espessura valores de 2,11; 1,32 e 0,81 mm para sementes escuras e 2,15; 1,40 e 0,83 mm para sementes brancas, concomitantemente (SEGURA-CAMPOS et al., 2014).

Para o sucesso do cultivo da chia, a compreensão dos processos de germinação das sementes é fundamental, influenciando diretamente o estabelecimento da cultura e sua tolerância a fatores abióticos, como a seca (A germinação é um processo complexo que interage com diversos fatores ambientais, incluindo temperatura, salinidade, luz e umidade do solo as sementes de chia, devido ao seu pequeno tamanho, apresentam características específicas durante a germinação).

Em relação à temperatura e luz, as sementes de *Salvia hispanica* demonstram diferentes sensibilidades. Os limites extremos de temperatura para germinação são de aproximadamente 3,3 °C e 39,8 °C (Migliavacca et al., 2014). Baixas temperaturas limitam a germinação, embora a chia seja mais tolerante ao frio do que algumas plantas tropicais. Altas temperaturas também restringem a germinação, superando os valores típicos para plantas de clima temperado (20-25 °C).

Essa faixa de temperatura indica que a chia se situa entre plantas tropicais e temperadas, uma característica que pode estar ligada à sua origem geográfica (Migliavacca et al., 2014). Entre 20 e 31 °C, a germinação da chia é indiferente à luz, mas fora dessa faixa, a luz pode exercer influência (Migliavacca et al., 2014).

Para o estabelecimento bem-sucedido da cultura da chia, são necessárias condições edafoclimáticas e práticas de manejo específicas. A planta prefere solos de textura média a arenosa, mas pode ser cultivada em solos argilosos, desde que sejam bem drenados, pois não tolera solos alagados (Migliavacca et al., 2014). A chia também demonstra tolerância à acidez e à seca, características importantes para diversas regiões agrícolas (Migliavacca et al., 2014).

Sementes tão pequenas exigem uma profundidade rasa, apenas o suficiente para cobri-las com solo (Migliavacca et al., 2014). Em relação à adubação, as exigências nutricionais da chia ainda são pouco conhecidas (Migliavacca et al., 2014).

Outro desafio no manejo é o controle de plantas daninhas. A cultura da chia é suscetível a herbicidas como metalachol, pendimethalin, bentazon e quizalofop-p-ethyl, que podem causar fitotoxicidade e afetar o crescimento e a produção (Migliavacca et al., 2014). Herbicidas como trifluralina, pendimethalin e linuron mostraram-se eficazes no controle de plantas daninhas, com o linuron apresentando um espectro de controle mais amplo. Esses dados indicam a necessidade de pesquisas contínuas para identificar estratégias de controle de plantas daninhas que sejam eficazes e seguras para a chia.

Apesar do seu enorme potencial e da crescente demanda global, a produção de chia no Brasil ainda é relativamente pequena, o que impede o suprimento total do mercado mundial (Migliavacca et al., 2014). No cenário brasileiro, os produtores enfrentam desafios específicos relacionados à colheita das sementes e à sua comercialização. Revela-se como uma cultura promissora para o Brasil, capaz de se adaptar a diferentes regiões, desde que as condições de temperatura, altitude e precipitação estejam alinhadas com suas exigências (Migliavacca et al., 2014).

Nos últimos anos, os alimentos funcionais ganharam mais atenção mundial, devido mudanças no padrão de consumo. A razão para esta mudança se deve ao maior número de

peessoas que sofrem de doenças cardiovasculares, pressão arterial, obesidade, diabetes e entre outras. Comumente estas condições são devido ao estilo de vida sedentário e alimentações desequilibradas (ALI et al., 2012)

3.1.3 Quinoa (*Chenopodium quinoa*)

A quinoa, um pseudocereal de origem andina com milênios de cultivo histórico (SPEHAR; SANTOS, 2002), apresenta-se como uma promissora alternativa para a diversificação dos sistemas agrícolas no Brasil. Caracterizada por sua notável tolerância à seca, a quinoa destaca-se também por sua elevada qualidade proteica, baixo teor de colesterol e, crucialmente, pela ausência de glúten, o que a torna um alimento valioso para pacientes celíacos (SPEHAR; SANTOS, 2002). Além do consumo humano, a quinoa também possui potencial para uso na alimentação animal.

As pesquisas com a espécie, que teve início na década de 1990 (SPEHAR, 2006; SPEHAR; SANTOS, 2002), visaram selecionar genótipos adaptados às condições edafoclimáticas brasileiras.

Nos cultivos no Cerrado brasileiro, a cultivar BRS Piabiru foi selecionado principalmente por não possuir a substância saponina, que é um glicosídeo de sabor amargo que limita o consumo do grão (SCHENKEL et al., 2001). Porém, apresenta algumas limitações do ponto de vista agrônomo, tais como pequenos tamanhos de sementes que dificulta a semeadura e ciclo longo de 145 dias da emergência a maturação (ROCHA, 2008; SPEHAR; SANTOS, 2002).

Esta linhagem, selecionada a partir de uma população proveniente de Quito, Equador, demonstrou um potencial produtivo médio de 2,8 t/ha de grãos em sucessão à soja (safrinha) e na entressafra sob irrigação, com um ciclo de 145 dias da emergência à maturação (SPEHAR; SANTOS, 2002).

Os pesquisadores e extensionistas vislumbram na quinoa uma opção de renda adicional e uma ferramenta para o aprimoramento da eficiência dos sistemas produtivos, com redução de custos e impacto ambiental negativo (SPEHAR et al., 2007).

A introdução de culturas como a quinoa como alternativa de renda, precisa ser estudada para uso em diferentes frentes, ou seja, manejo fitossanitário. Assim a cultura da quinoa é capaz de interromper ciclos de pragas e doenças, um benefício significativo em ambientes onde a monocultura tem favorecido o surgimento de problemas fitossanitários (SPEHAR, 2006), podendo ter potencial como planta capaz de suprimir plantas daninhas.

Desafios como o manejo de plantas daninhas, gera a necessidade de aprimoramento genético contínuo, aprofundamento em estudos nutricionais e de manejo da planta, e a prospecção de mercado são cruciais para o êxito e ampla adaptação da quinoa aos sistemas produtivos brasileiros (SPEHAR et al., 2007).

3.2 Janela de Cultivo de Gergelim, Chia e Quinoa na Região Sudoeste do Paraná

De acordo com dados levantados pelos órgãos meteorológicos como INMET e WEATHERSPARK demonstra que o cultivo de Gergelim, Chia e Quinoa encontra-se em janela de plantio nos meses de setembro a dezembro para Região Sudoeste do Paraná, principalmente na cidade de Dois Vizinhos por ter uma taxa de precipitação e temperaturas ideais.

Com base nas médias climáticas estimadas para o município, é possível classificar o risco térmico da seguinte forma: baixo risco de geada entre outubro e março, quando as temperaturas mínimas permanecem iguais ou superiores a 14 °C; risco médio entre maio e setembro, com valores entre 10 e 14 °C; e maior risco entre junho e julho, meses nos quais as mínimas se aproximam de 10 °C, constituindo o período mais suscetível a danos fisiológicos por frio (INMET, 2024). Esses elementos são essenciais para definir janelas de semeadura seguras, especialmente para espécies tropicais e subtropicais, como o gergelim e a chia, e mesmo para espécies mais tolerantes ao frio, como a quinoa.

No caso do gergelim (*Sesamum indicum*), trata-se de uma cultura altamente dependente de temperaturas elevadas, com desempenho ideal entre 25 e 30 °C (BELTRÃO; VIEIRA, 2001). Considerando o regime térmico de Dois Vizinhos, a janela mais segura de semeadura se estende de 1º de outubro a 15 de novembro, período em que as temperaturas mínimas permanecem consistentemente acima de 15 °C e o risco de geadas tardias é praticamente inexistente. Além disso, as chuvas de primavera favorecem a germinação e o florescimento, reduzindo riscos de estresse hídrico no início do ciclo.

Para a chia (*Salvia hispanica*), a situação é ainda mais delicada, pois se trata de uma espécie extremamente sensível ao frio e depende de fotoperíodo curto para indução floral. Chuvas excessivas na floração também podem prejudicar a produtividade (JIMÉNEZ et al., 2017). De acordo com as condições climáticas locais, a janela mais adequada de cultivo situa-se entre 25 de outubro e 30 de novembro, período que reduz significativamente o risco de noites frias e evita a indução floral precoce por fotoperíodo inadequado. Embora exista uma janela secundária no fim do verão (fevereiro–março), sua viabilidade depende das condições específicas de cada ano, especialmente radiação e distribuição de chuvas, tornando-a mais arriscada.

A quinoa (*Chenopodium quinoa*) apresenta maior tolerância ao frio e à amplitude térmica, podendo germinar em condições mais baixas que gergelim e chia (BHARGAVA; SHUKLA; OHRI, 2006). Entretanto, chuvas intensas no período de maturação podem reduzir a qualidade dos grãos. Assim, a melhor janela de plantio compreende 1º de setembro a 10 de dezembro, com destaque para setembro e outubro como período mais favorável, pois a semeadura precoce permite que a maturação ocorra antes dos picos de precipitação do verão. A tolerância da quinoa às temperaturas baixas do final do inverno permite sua implantação ainda em setembro, quando as temperaturas mínimas começam a elevar-se, embora ainda inferiores às ideais para culturas mais exigentes.

3.3 Alelopátia

A alelopátia é compreendida por causar tanto danos, como proporcionar benefícios a outras plantas em sua área de influência, através da liberação de compostos químicos para o meio ambiente (FILHO, 2002; CIACCIA et al., 2015). Essas substâncias podem causar interferências nas culturas de interesse econômico (MALIK et al., 2008).

Enquanto a alelopátia envolve a introdução de substâncias químicas no ambiente, a competição se refere à remoção de fatores de crescimento essenciais, como luz, água, gás carbônico e nutrientes. No entanto, é comum que ambos os fenômenos ocorram simultaneamente, caracterizando o que se denomina interferência (PIRES; OLIVEIRA, 2011).

As substâncias envolvidas neste processo, conhecidas como aleloquímicos ou fitotoxinas, são produtos secundários do metabolismo vegetal, que desempenham um papel crucial na proteção e defesa das plantas contra fitopatógenos, pragas e a invasão de outras plantas (PIRES; OLIVEIRA, 2011).

A possibilidade de utilizar estes produtos naturais, que são biodegradáveis e não persistentes no solo, como herbicidas naturais, representa uma promissora alternativa aos agroquímicos sintéticos, com compostos como alcalóides, benzoxazinonas, derivados do ácido cinâmico, cumarinas e compostos cianogênicos destacando-se pelo seu elevado potencial alelopático (PIRES; OLIVEIRA, 2011).

A elucidação dos mecanismos e modos pelos quais os aleloquímicos modificam o crescimento e desenvolvimento das plantas representa um desafio contínuo para os pesquisadores, dada a limitada disponibilidade de trabalhos que abordam esta questão (PIRES; OLIVEIRA, 2011).

Os aleloquímicos podem atuar na regulação do crescimento, afetando a divisão e o alongamento celular, fases essenciais do desenvolvimento vegetal. Por exemplo, substâncias

voláteis de *Salvia leucophylla*, como cineole e cânfora, demonstraram reduzir a divisão e o alongamento celular, e aumentar o diâmetro das células da radícula e do hipocótilo de pepino (PIRES; OLIVEIRA, 2011).

Os aleloquímicos também interferem significativamente na absorção de nutrientes. Observa-se que substâncias como ácidos benzóicos e cinâmico, hidroquinonas, juglona, naringenina e o-retina podem inibir a absorção de íons, como PO_3^{3-} e K^+ , pelas raízes (Pires & Oliveira, 2011).

A intensidade dos efeitos alelopáticos não é um fenômeno isolado, mas sim o resultado da ação combinada de múltiplos fatores. Einhellig (1996) ilustra essa complexidade por meio de um modelo triangular, que demonstra que a alelopatia interage com diversos fatores que alteram o crescimento das plantas (PIRES; OLIVEIRA, 2011).

O estresse ambiental, tanto abiótico (temperatura, radiação, nutrientes, água) quanto biótico (doenças e pragas), pode induzir o aumento da produção de metabólitos secundários nas plantas, incluindo os aleloquímicos. Essas mudanças metabólicas são mecanismos importantes de defesa vegetal e podem alterar as estratégias de manejo da alelopatia nas culturas (PIRES; OLIVEIRA, 2011).

As características do solo desempenham um papel crucial na dinâmica e na atividade dos aleloquímicos. A textura do solo pode influenciar os efeitos alelopáticos, sendo estes frequentemente mais severos em solos de textura arenosa. No entanto, em condições de excesso de umidade, os efeitos podem ser mais acentuados em solos argilosos (PIRES; OLIVEIRA, 2011).

O pH do solo é outro fator determinante, pois altera a natureza das interações entre as moléculas dos aleloquímicos e as partículas do solo. Curiosamente (WHITEHEAD et al, 1981) observaram que a extração de ácidos fenólicos do solo, raízes e palha aumentou com a elevação do pH de 7,5 para 10,5, sugerindo que em valores de pH mais altos o efeito alelopático pode ser maior.

Para que esses compostos exerçam efeitos alelopáticos significativos, eles precisam persistir no solo por longos períodos e se acumular a níveis elevados, apesar de serem fortemente adsorvidos mesmo em baixas concentrações (PIRES; OLIVEIRA, 2011).

Alelopátia, portanto, emerge como uma área de pesquisa vital, com o potencial de revolucionar o manejo de pragas e plantas daninhas, promovendo uma agricultura mais resiliente e ecologicamente equilibrada.

3.4 Feijão-Comum (*Phaseolus vulgaris*)

O cultivo de feijão no Brasil ocorre em três safras ao longo do ano, o que garante regularidade na oferta do grão no mercado interno. O uso de cultivares de ciclo reduzido é estratégico, pois permite ao produtor ajustar o plantio a janelas mais curtas e, assim, integrar o feijão a sistemas produtivos que incluam outras culturas dentro da mesma safra. Embora a região Nordeste concentre a maior área cultivada, os principais estados produtores em volume são Paraná, Minas Gerais e Mato Grosso (CONAB, 2021).

Este progresso técnico é notável pelo desenvolvimento de cultivares mais produtivas e resistentes a doenças, bem como pela melhoria das práticas de irrigação, conservação do solo e manejo integrado de pragas e doenças (PELEGRINI et al., 2017). Tais inovações, em especial a possibilidade de cultivos durante o inverno, a terceira safra e o aprimoramento na capacidade de armazenamento de grãos, como evidenciado pela cultivar BRSMG Madrepérola, foram cruciais para atender à crescente demanda dos consumidores (PELEGRINI et al., 2017).

O IPR Cardeal, que pertence ao grupo comercial de feijões especiais e apresenta grãos do tipo Dark Red Kidney (DRK), caracterizados por coloração vermelha intensa, formato reniforme e elevado calibre, consistindo em uma alternativa de alto valor agregado para sistemas de produção que buscam diversificação comercial e inserção em nichos de mercado diferenciados. Desenvolvida pelo Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná e registrada no RNC/MAPA sob o número 41263 em 03/01/2023, essa cultivar destaca-se pelo potencial produtivo médio de 3.575 kg ha⁻¹, massa de mil grãos de 452 g e ciclo semiprecoce, com aproximadamente 78 dias até a colheita e 35 dias até o florescimento.

Em qual nas condições brasileiras, o feijão de primeira safra semeado entre meados de agosto e dezembro costuma alcançar maiores produtividades, em razão da predominância de condições abióticas mais adequadas ao crescimento e à formação de vagens. Já a segunda safra, conduzida entre janeiro e abril, normalmente encerra o ciclo produtivo do feijão-comum nas regiões Sul, Centro-Oeste e Sudeste, principais polos produtores. Após esse período, a semeadura permanece viável apenas em áreas do Norte e Nordeste, onde as condições climáticas de inverno ainda permitem o cultivo (CONAB, 2021). Independentemente da janela de plantio, o feijoeiro pode apresentar perdas significativas pelos problemas fitossanitários, com destaque para as plantas daninhas.

No Brasil, estima-se a ocorrência de aproximadamente 1.200 espécies de plantas daninhas. Dentre essas, cerca de 32 apresentam relevância direta para a cultura do feijoeiro (COBUCCI; DI STEFANO; KLUTHCOUSKI, 1999). Por se tratar de uma espécie de ciclo curto, o feijão apresenta elevada sensibilidade à interferência competitiva dessas plantas (STONE; SARTORATO, 1994). A competição exercida pelas plantas daninhas constitui um

dos principais fatores limitantes ao rendimento da cultura, destacando-se como espécies de maior impacto o leiteiro (*Euphorbia heterophylla*) (TAVARES et al., 2013), carurus do gênero *Amaranthus spp.* e nabiça (*Raphanus raphanistrum*) (BARROSO; YAMAUTI; ALVES, 2010). A cobertura vegetal remanescente sobre o solo em sistemas de plantio direto atua na supressão de plantas daninhas, em parte devido a efeitos alelopáticos (SILVA et al., 2014).

Entretanto, quando essa supressão não é suficiente, torna-se necessário adotar medidas de controle. Em pequenas propriedades, onde a cultura é predominantemente explorada por agricultores familiares, a capina manual permanece como o método mais indicado. Já em áreas maiores, nas quais o manejo manual não é viável operacionalmente, recorre-se ao controle químico como alternativa principal (STONE; SARTORATO, 1994).

As fragilidades deste modelo se manifestam na redução da área de cultivo, na concentração da produção em poucas mãos e, de forma mais preocupante, na diminuição da participação dos agricultores familiares (PELEGRINI et al., 2017).

4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na fazenda experimental na área de cultivo de culturas alternativas no setor de olericultura, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-DV), Campus Dois Vizinhos. Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta predomínio de clima subtropical úmido, com temperatura mais fria variando entre 14 °C e 22 °C (NITSCHKE et al., 2019), sendo o solo da área classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, de textura argilosa, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018).

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos e três repetições, totalizando 15 parcelas, onde cada parcela experimental apresentou dimensões de 5 m × 4 m (20 m²), com bordaduras laterais de 0,5 m. Os tratamentos consistiram nas seguintes coberturas vegetais: Chia (*Salvia hispanica* L.); Gergelim (*Sesamum indicum* L.); Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.); Mix (Chia + Gergelim + Quinoa, em proporção equitativa de sementes); e Testemunha (solo descoberto, sem cobertura vegetal). Não foi feita análise de solo e adubação na cultura, especificando que foi para extrapolar o real efeito da alelopátia e efeito fisco das coberturas.

A condução do experimento teve início em 25/11/2025, data em que foi realizada a semeadura manual das plantas de cobertura na área experimental, com sementes distribuídas em linhas espaçadas a 0,30 m, utilizando-se densidades específicas conforme as recomendações agronômicas. Posteriormente, em 09/12/2025, observou-se a emergência das plantas de cobertura estabelecidas. Para evitar interferências no desenvolvimento inicial dessas culturas, foi efetuada uma capina manual na área experimental em 19/12/2025.

O florescimento das espécies implantadas foi devidamente registrado em 22/01/2026, seguido por uma segunda capina manual realizada em 16/02/2026, visando à manutenção do desenvolvimento adequado das coberturas. A quantificação da biomassa seca total iniciou-se em 24/02/2026, com a coleta das amostras vegetais por meio de um quadrado metálico de 0,25 m² em dois pontos aleatórios por bloco. Em 02/03/2026, essas amostras foram acondicionadas em estufa de circulação de ar forçado a 65 °C no laboratório de solos por 120 horas (5 dias) até atingirem peso constante, sendo a pesagem da matéria seca executada em 09/03/2026 em uma balança analítica em sala controlada, com resultados expressos em t ha⁻¹.

O manejo definitivo das culturas de cobertura ocorreu em 06/03/2026 por meio do rolamento com rolo-faca para acamamento e cobertura uniforme da superfície do solo,

mantendo-se os resíduos sobre a superfície sem incorporação, de modo a simular o sistema de plantio direto.

Em 20/03/2026, foi realizado o plantio direto do feijoeiro na área experimental utilizando-se a cultivar. A semeadura adotou o espaçamento de 0,45 m entre linhas com população regulada para obter de 8 a 10 plantas por metro linear, o que se alinhou à recomendação técnica de 0,45 a 0,50 m entre linhas com população ideal de 180 a 220 mil plantas por hectare, sabendo-se que ensaios fitotécnicos demonstraram que populações menores favorecem o aumento na massa de mil grãos e maior produtividade, indicando elevada plasticidade fisiológica da cultivar frente ao arranjo populacional. A cultivar é indicada para cultivo nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo e Mato Grosso do Sul, demonstrando bom desempenho nas diferentes condições edafoclimáticas do Sul e Centro-Sul do Brasil.

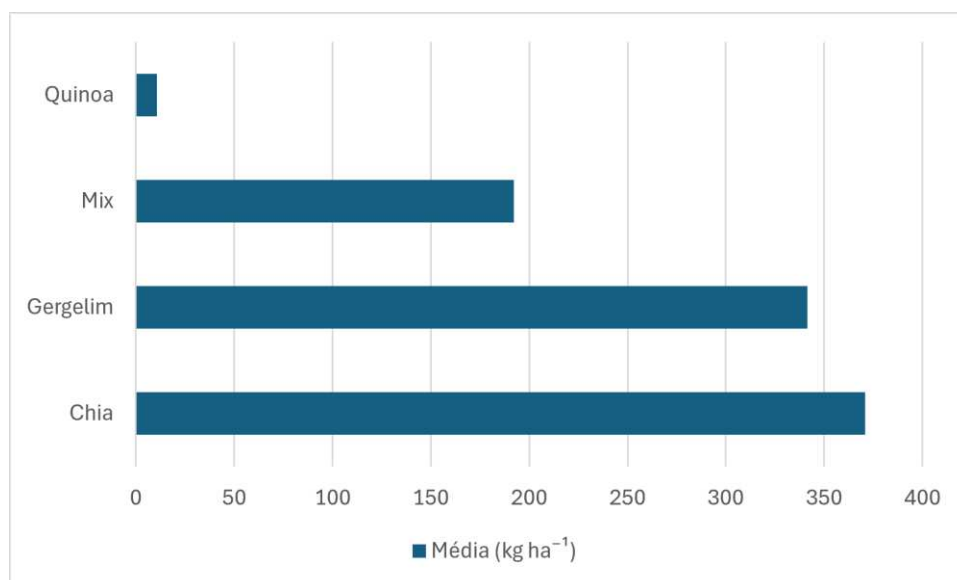
As avaliações de monitoramento e componentes agronômicos foram distribuídas ao longo do ciclo da cultura do feijão. Em 19/04/2026, correspondendo aos 30 dias após o plantio, realizou-se a primeira medição da altura de plantas (cm) e coleta das plantas daninhas para determinação de espécies e biomassa seca total. Em 19/05/2026, aos 60 dias após o plantio, procedeu-se à segunda medição da altura de plantas (cm) e à mensuração da altura de inserção da primeira vagem. Também na data de 19/05/2026, correspondendo aos 60 dias pós-plantio do feijão, foi efetuada a coleta das plantas daninhas para a determinação de sua biomassa seca, utilizando-se o mesmo quadrado metálico de 0,25 m² por meio de amostragem aleatória. As plantas invasoras coletadas foram identificadas até o nível de espécie e secas em estufa para determinação da biomassa seca total. O potencial alelopático foi determinado a partir da quantificação e identificação de espécies originadas da supressão de plantas daninhas exercida por cada planta de cobertura implantada separadamente e seu respectivo mix.

Os dados experimentais foram submetidos aos testes de verificação dos pressupostos de normalidade e homogeneidade. Posteriormente, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), utilizando-se o programa estatístico RBio (BHERING, 2017). Para todas as variáveis macroambientais analisadas (Matéria seca das plantas daninhas aos 30 dias, matéria seca das plantas daninhas aos 60 dias, altura do feijão aos 30 dias, altura do feijão aos 60 dias e altura da primeira vagem), os resíduos foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk (normalidade) e de homogeneidade de variâncias (Bartlett/Levene), garantindo o rigor e a confiabilidade das inferências subsequentes. Da mesma forma, o pressuposto de homoscedasticidade não foi rejeitado em nenhum dos cenários, validando o uso do teste F na ANOVA.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos de chia e gergelim destacaram-se como os mais eficientes, acumulando as maiores quantidades de fitomassa. O desempenho superior destes tratamentos corrobora os achados de Borges et al. (2014), que ressaltam como o uso de coberturas de verão adaptadas ao Cerrado maximiza a produção de palhada. A alta produção de biomassa, observada nos tratamentos de chia e gergelim, é essencial para a formação de uma barreira física que impede a germinação de sementes fotoblásticas e altera o microclima na superfície do solo, mitigando a amplitude térmica (TAYLORSON; BORTHWIC, 1969) (Gráfico 1)

Gráfico 1. Acúmulo de matéria seca das plantas de cobertura (kg ha^{-1}) segundo os tratamentos avaliados.



Fonte: dados do autor, 2026.

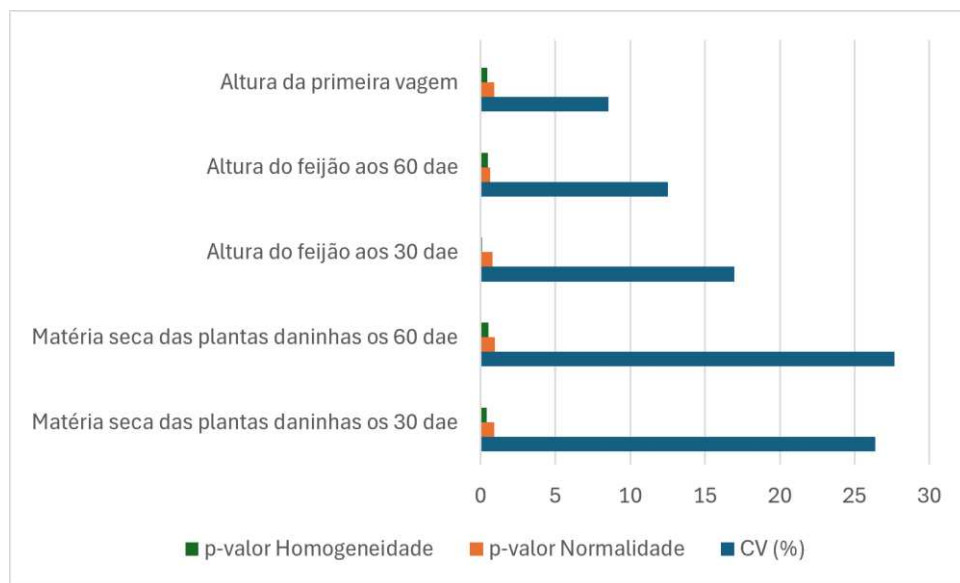
O tratamento de quinoa, que apresentou a menor média ($10,68 \text{ kg ha}^{-1}$), diferiu significativamente dos tratamentos mais produtivos (Gráfico 1). Este baixo acúmulo de biomassa é um fator crítico, pois, conforme destacado por (LAMEGO et al. 2015), coberturas com baixa densidade de fitomassa possuem reduzido potencial supressivo, permitindo que a comunidade infestante reocupe o nicho ecológico rapidamente após a dessecação ou manejo.

A análise residual validou a robustez dos resultados, com normalidade dos resíduos ($p=0,167$) e homoscedasticidade das variâncias ($p=0,285$). Isso indica que os efeitos observados nos tratamentos de chia e gergelim não são aleatórios e confirmam a eficácia superior dessas combinações no sistema de produção. Em estudos de sucessão cultural, a manutenção de

elevados níveis de resíduos na superfície (como visto nos tratamentos superiores) atua na lixiviação de compostos alelopáticos, fornecendo supressão química adicional, especialmente contra espécies de sementes pequenas (MORAES et al., 2011).

Antes da interpretação dos efeitos biológicos dos tratamentos sobre a comunidade infestante e a cultura do feijoeiro, procedeu-se à validação estatística dos modelos lineares fixados via Análise de Variância (ANOVA) (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Resumo geral da análise estatística das variáveis fitotécnicas e matológicas do feijoeiro sob o efeito de diferentes tratamentos de manejo.



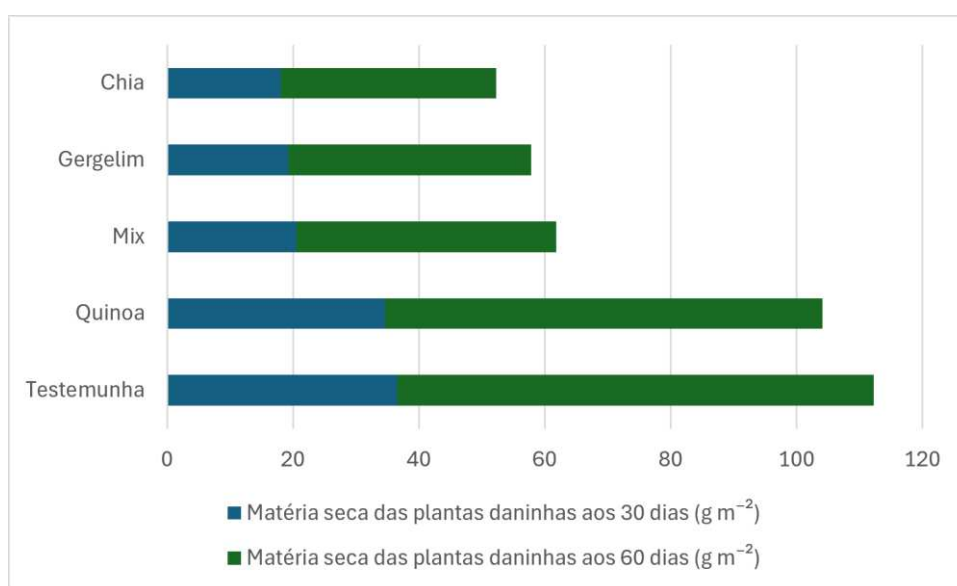
Fonte: dados do autor, 2026.

Os resultados revelaram que os resíduos de todas as variáveis apresentaram distribuição normal ($p > 0,05$), com o menor valor observado para altura do feijão aos 60 dias ($p = 0,64656$) e o maior para matéria seca das plantas daninhas aos 60 dias ($p = 0,93926$). Da mesma forma, o pressuposto de homoscedasticidade não foi rejeitado em nenhum dos cenários, validando o uso do teste F na ANOVA.

Os Coeficientes de Variação (CV) observados situaram-se dentro dos limites aceitáveis para ensaios de matocompetição em condições de campo. As variáveis de dinâmica de plantas daninhas (MS aos 30 dias e MS aos 60 dias) exibiram maior flutuação experimental (CV de 26,37% e 27,68%, respectivamente), o que é biologicamente esperado devido à distribuição heterogênea e ao banco de sementes estocástico das plantas invasoras na camada arável do solo. Por outro lado, as variáveis morfológicas da cultura (Altura do feijão aos 30 dias, altura do feijão aos 60 dias e altura da primeira vagem) exibiram estabilidade notável,

culminando em um CV de apenas 8,56% para a altura de inserção da primeira vagem, evidenciando excelente precisão experimental. A biomassa seca expressa o real potencial competitivo e a capacidade de partição e espoliação de recursos do meio exercida pela comunidade infestante sobre as plantas cultivadas. A ANOVA acusou efeito significativo ($p < 0,05$) para os tratamentos avaliados aos 60 DAE. Aos 30 DAE não houve diferença entre os tratamentos para a variável analisada.

Gráfico 3 – Médias de matéria seca de plantas daninhas aos 30 e 60 dias pós-emergência do feijoeiro em função dos tratamentos testados.



Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: dados do autor, 2026.

Contudo, a análise do gradiente numérico revela tendências biológicas inquestionáveis. A testemunha ($36,54 \text{ g m}^{-2}$) e a quinoa ($34,61 \text{ g m}^{-2}$) acumularam praticamente o dobro da biomassa fitoestimulada observada na chia ($18,08 \text{ g m}^{-2}$), gergelim ($19,27 \text{ g m}^{-2}$) e mix das mesmas ($20,52 \text{ g m}^{-2}$). Essa fase (30 DAE) é crucial, pois compreende o encerramento do Período Crítico de Prevenção à Interferência (PCPI) do feijoeiro. De acordo com a literatura clássica de Victoria Filho (1994) e (COBUCCI et al. 1999), o intervalo entre 20 e 30 dias do ciclo vegetativo consolida o arranque inicial da cultura (estádio V4-R5); se a comunidade infestante exercer dominância luminosa e nutricional nesse momento, os danos à plasticidade da cultura tornam-se crônicos. A tendência de menor acúmulo no tratamento de chia sugere que este tratamento impôs uma barreira cultural ou química precoce mais assertiva, mimetizando os resultados de supressão inicial observados por Moraes et al. (2011) ao avaliarem a dinâmica

germinativa sob palhadas com alta capacidade de liberação de aleloquímicos na camada superficial do solo.

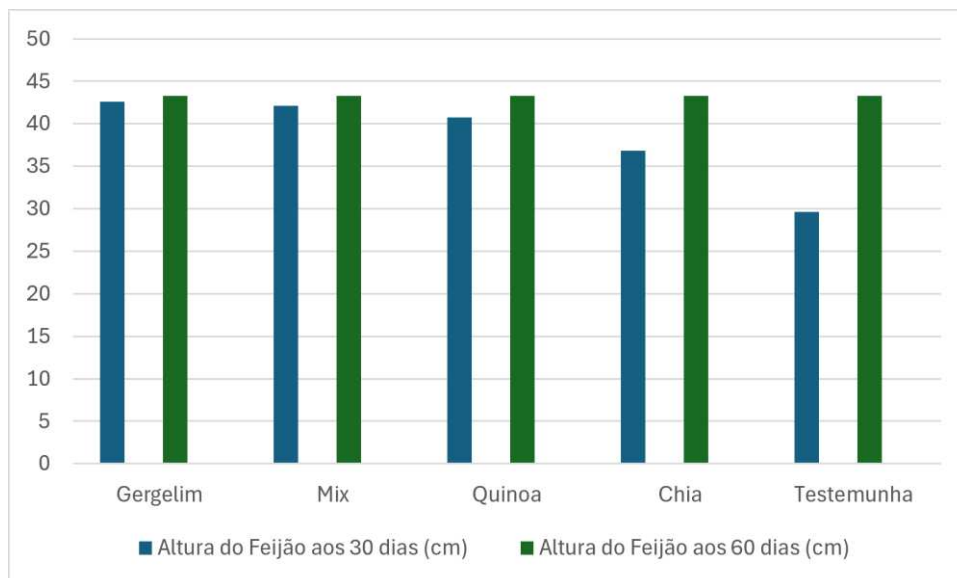
Aos 60 DAE, o cenário competitivo consolidou-se, permitindo ao teste de Tukey quebrar a homogeneidade e segregar os tratamentos polares (Gráfico 3). A testemunha exibiu o maior índice de infestação crônica, atingindo $75,74 \text{ g m}^{-2}$, diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) da chia, que apresentou a menor biomassa seca de plantas daninhas ($34,20 \text{ g m}^{-2}$). Os tratamentos de quinoa ($69,51 \text{ g m}^{-2}$), mix ($41,33 \text{ g m}^{-2}$) e gergelim ($38,60 \text{ g m}^{-2}$) comportaram-se como intermediários.

A chia reduziu o acúmulo de biomassa das plantas daninhas em 54,84% quando comparado a testemunha. Este padrão de comportamento corrobora as dinâmicas elucidadas por (LAMEGO et al. 2015), onde plantas de cobertura ou manejos culturais eficientes exercem efeito supressor prolongado sobre o banco de sementes e o fluxo de emergência de plantas daninhas latifoliadas e monocotiledôneas (como *Raphanus spp.* e *Conyza spp.*). A incapacidade de supressão tardia verificada na testemunha indica um ambiente de espoliação de nicho ecológico, onde a comunidade infestante encontrou condições ideais para livre crescimento, ultrapassando a taxa de conversão fotossintética do próprio feijoeiro.

Essa dinâmica também pode ser associada aos conceitos defendidos por (MISQUITA; SILVA; CAETANO 2025), os quais demonstram que tratamentos que proporcionam o sinergismo entre a arquitetura de plantas e a persistência de fitomassa morta residual mantêm a taxa de controle de plantas daninhas elevada até os estádios reprodutivos avançados do feijoeiro (R7-R8). Conforme (BORGES et al. 2014), a manutenção de baixos níveis de matéria seca de plantas daninhas na fase final impede a matocompetição por água e nutrientes no enchimento de grãos, além de mitigar os severos entraves operacionais no momento da colheita.

O crescimento em altura reflete a capacidade do feijoeiro de capturar radiação fotossinteticamente ativa e estruturar sua área foliar. Todavia, as respostas morfológicas às flutuações microambientais nem sempre se traduzem em alterações estatisticamente perceptíveis no plano macro.

Gráfico 4 – Valores médios de altura de plantas de feijoeiro aos 30 DAE e aos 60 DAE em função dos diferentes tratamentos.



Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: dados do autor, 2026.

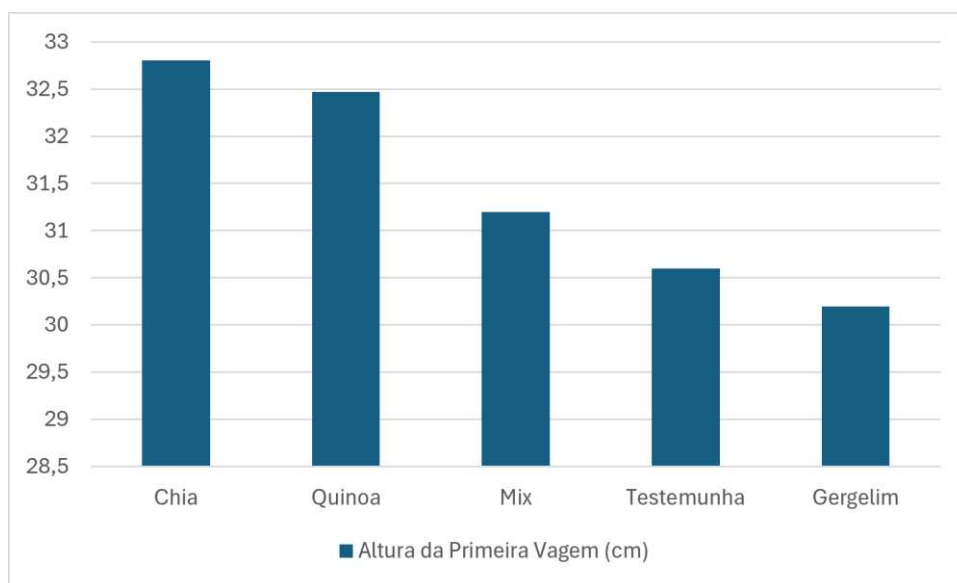
Para ambas as épocas avaliadas, os tratamentos não exerceram modificações significativas ($p > 0,05$) sobre a altura do feijoeiro (Gráfico 4). Aos 30 DAE ($p = 0,17664$) e aos 60 DAE ($p = 0,47559$), a variação observada entre as médias foi classificada como flutuação casualizada pelo teste estatístico.

Apesar da ausência de significância, a análise qualitativa do gradiente numérico oferece fortes indícios fisiológicos do custo da matocompetição. Em ambas as avaliações, a testemunha obteve as menores médias absolutas de altura (29,60 cm aos 30 DAE e 36,20 cm aos 60 DAE). Sob o prisma da fisiologia da produção, essa redução numérica de crescimento na testemunha está intimamente associada à pressão de interferência biótica observada nas variáveis matológicas (Gráfico 3), onde a testemunha liderou o acúmulo de biomassa seca de plantas daninhas.

A competição precoce e contínua imposta pelas plantas daninhas priva o feijoeiro de nitrogênio e água, reduzindo a taxa de expansão foliar e a turgidez celular necessária para o alongamento do caule (PROCÓPIO et al., 2004). (CASTELAN et al. 2025) explicam que quando a cultura do feijoeiro divide o nicho com comunidades infestantes densas, ela tende a sofrer alterações na partição de assimilados; em cenários de sombreamento severo por plantas daninhas mais altas, a cultura poderia manifestar estiolamento compensatório, porém, se a matocompetição ocorrer por recursos edáficos (água e nutrientes), o crescimento celular global sofre depressão drástica, o que justifica a menor estatura numérica do feijoeiro observada no tratamento mais infestado que é a testemunha.

A altura de inserção da primeira vagem (Altura da primeira vagem) constitui um componente fitoestrutural estratégico para a cultura do feijoeiro moderno, determinando diretamente a eficiência da colheita mecanizada e o percentual de perdas provocadas pelo corte da plataforma ceifeira.

Gráfico 5 – Valores médios de altura de inserção da primeira vagem do feijoeiro em função dos tratamentos.



Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: dados do autor, 2026.

A análise de variância revelou que a altura da primeira vagem não foi influenciada de forma significativa pelos tratamentos ($p = 0,71252$), exibindo médias que variaram estritamente entre 30,20 cm (Gergelim) e 32,80 cm (Chia). Ao contrário de caracteres plásticos, a inserção da vagem em cultivares modernas de hábito de crescimento ereto (Tipo I ou Tipo II) manifesta forte estabilidade fenotípica frente a variações fitossanitárias ou de manejo cultural de intensidade moderada.

Sob a ótica tecnológica da engenharia agrícola, todos os tratamentos apresentaram médias numéricas de Altura da primeira vagem consideradas agronomicamente excelentes. (TEIXEIRA et al. 2009) apontam que para mitigar o desperdício de grãos e evitar o esmagamento mecânico de vagens basais pela barra de corte das colhedoras automotrizes, a Altura da primeira vagem ideal deve situar-se acima de 15,0 cm. Como os valores obtidos oscilaram na faixa de 30 cm, favorece a colheita mecanizada direta.

6. CONCLUSÕES

As plantas de cobertura exerceram influência sobre a dinâmica da comunidade infestante na cultura do feijoeiro, promovendo diferentes níveis de supressão das plantas daninhas. Entre os tratamentos avaliados, a chia destacou-se por proporcionar a maior redução da matéria seca da comunidade infestante aos 60 dias após a emergência, evidenciando elevado potencial alelopático e/ou de interferência física na emergência e desenvolvimento das espécies infestantes.

A utilização das coberturas vegetais contribuiu para a redução da infestação de plantas daninhas sem ocasionar alterações significativas nas características agronômicas do feijoeiro relacionadas à altura de plantas e à altura de inserção da primeira vagem, indicando que os tratamentos não comprometeram o desenvolvimento vegetativo da cultura nas condições experimentais.

Os resultados obtidos demonstram que o emprego de plantas de cobertura, especialmente a chia, constitui uma estratégia promissora para o manejo de plantas daninhas na cultura do feijão, podendo integrar programas de manejo integrado de plantas daninhas e contribuir para a redução da dependência de herbicidas químicos.

Entretanto, que os resultados apresentados correspondem a uma única safra agrícola, conduzida sob condições edafoclimáticas específicas. Dessa forma, recomenda-se a realização de estudos adicionais em diferentes ambientes, épocas de cultivo e sistemas de produção, visando validar a consistência dos efeitos observados e ampliar a aplicabilidade dos resultados em diferentes condições de cultivo.

REFERÊNCIAS

- ALI, N. M. et al. The Promising Future of Chia, *Salvia hispanica* L. Review Article. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, p. 9, 2012.
- BARROSO, A. A. M.; YAMAUTI, M. S.; ALVES, P. L. da C. A. Interferência entre espécies de planta daninha e duas cultivares de feijoeiro em duas épocas de semeadura. *Bragantia*, v. 69, p. 609–616, 2010.
- BELTRÃO, N. E. M.; VIEIRA, D. J. O. Gergelim: tecnologia de produção. Brasília: Embrapa, 2001.
- BHARGAVA, A.; SHUKLA, S.; OHRI, D. *Chenopodium quinoa*—an Indian perspective. *Industrial Crops and Products*, v. 23, p. 73–87, 2006.
- BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 17, n. 2, p. 187–190, 2017.
- BORGES, W. L. B. et al. Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura do solo. *Planta Daninha, Viçosa*, v. 32, n. 4, p. 727-735, 2014.
- BORGES, W. L. B. et al. Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura do solo. *Planta Daninha, Viçosa*, v. 32, n. 4, p. 755-763, 2014.
- CAMPOS, O. P. et al. Potencial alelopático de *Cyperus rotundus* L. sobre a germinação de *Salvia hispanica* L. In: *Práticas integrativas e complementares: visão holística e multidisciplinar – Vol. 2. [S. l.]: Atena Editora, 2021.*
- CARVALHO, A. M. et al. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. *Crop and Pasture Science*, v. 63, n. 12, p. 1075-1081, 2012.
- CARVALHO, W. P.; WANDERLEY, A. L. Avaliação de cultivares de feijão comum para o plantio em sistema orgânico no Cerrado, ciclo 2004/2005. *Bioscience Journal, Uberlândia*, v. 23, n. 3, p. 50–59, 2007.
- CASTELAN, F. et al. Supressão de plantas daninhas por diferentes espécies de plantas de cobertura. *Revista Iguazu Science*, v. 3, n. 8, p. 106-114, 2025.
- COBUCCI, T. et al. Manejo de plantas daninhas na cultura do feijoeiro em sistema de plantio direto. *Circular Técnica Embrapa Arroz e Feijão*, n. 35, p. 1-24, 1999.
- COBUCCI, T.; STEFANO, J. G. D.; KLUTHCOUSKI, J. Manejo de plantas daninhas na cultura do feijoeiro em plantio direto. *Embrapa Arroz e Feijão-Circular Técnica*, p. 56, 1999.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. V. 8 – SAFRA 2020/21, N. 5, 2021.
- CRUZ-SILVA, C. T. A. et al. Cobertura de *Salvia officinalis* L. no desenvolvimento de plantas. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais, Campinas*, v. 18, n. 2, p. 488–493, 2016.

EINHELLING, F. A. Interaction involving allelopathy in cropping systems. *Agronomy Journal*, v. 88, p. 886-893, 1996.

FERNANDES, A. L. T. et al. Análise da comercialização de produtos orgânicos. *Revista Brasileira de Agroecologia*, [S. l.], v. 10, n. 2, 2015.

FERREIRA, A. C. B. et al. Suppressive effects on weeds and dry matter yields of cover crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 53, n. 5, p. 566–574, 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Normais climatológicas do Brasil (1991–2020). Brasília, 2024.

JABRAN, K. et al. Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*, v. 72, p. 57-65, 2015.

JIMÉNEZ, A. et al. Agronomic performance and photoperiod response of chia (*Salvia hispanica* L.). *Agricultural Sciences*, v. 8, p. 139–152, 2017.

LAMEGO, F. P. et al. Manejo de *Conyza bonariensis* resistente ao glyphosate: Coberturas de inverno e herbicidas em pré-semeadura da soja. *Planta Daninha*, v. 31, p. 433-442, 2013.

LAMEGO, F. P. et al. Potencial de supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura de verão. *Comunicata Scientiae*, Bom Jesus, v. 6, n. 1, p. 97-105, 2015.

MIGLIAVACCA, R. A. et al. O cultivo da chia no Brasil: futuro e perspectivas. *Journal of Agronomic Sciences*, Umuarama, v. 3, n. especial, p. 161–179, 2014.

MISQUITA, L. J. O.; SILVA, V. H. O.; CAETANO, E. J. M. Produção de biomassa e controle de plantas daninhas por mix de plantas de cobertura na região do Cerrado. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade Uniguaçu, 2025.

MORAES, P. V. D. et al. Alelopatia de plantas de cobertura na superfície ou incorporadas ao solo no controle de *Digitaria* spp. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 29, n. esp., p. 963-973, 2011.

MULLER, F. et al. A cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.). [S. l.: s. n.], 2016.

NEVES, Daniele Santos. Desenvolvimento de bolos e cookies incorporando a torta de gergelim como forma de aproveitamento. 2024.

ORMOND, J. G. P. et al. Agricultura orgânica: quando o passado é futuro. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 15, p. 3–34, 2002.

PACHECO, L. P. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 48, n. 9, p. 1228–1236, 2013.

PEREIRA, R. F. et al. A percepção do consumidor e o valor agregado em alimentos sustentáveis. *Revista de Administração e Agronegócio*, [S. l.], v. 7, n. 3, 2015.

PIRES, N. M.; OLIVEIRA, V. R. Alelopatia. In: OLIVEIRA JR., R. S. et al. (org.). *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, 2011.

PROCÓPIO, S. O. et al. Ponto de compensação de luz em plantas de feijoeiro e de plantas daninhas. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 35-41, 2004.

ROCHA, J. E. S. Seleção de genótipos de quinoa com características agronômicas e estabilidade de rendimento no Planalto Central. 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UnB, Brasília, 2008.

SEGURA-CAMPOS, M. R. et al. Physicochemical characterization of chia (*Salvia hispanica*) seed oil. *Agricultural Sciences*, v. 5, n. 3, p. 220-226, 2014.

SILVA, M. P. da et al. Palhada, teores de nutrientes e cobertura do solo por plantas de cobertura semeadas no verão para semeadura direta de feijão. *Agrarian*, v. 7, n. 24, p. 233–243, 2014.

SPEHAR, C. R. Adaptação da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) para incrementar a diversidade agrícola e alimentar no Brasil. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 23, n. 1, p. 41–62, 2006.

STONE, L. F.; SARTORATO, A. O cultivo do feijão: recomendações técnicas. Portal Embrapa. Brasília-DF: Embrapa, 1994.

TABAGLIO, V.; MAROCCO, A.; SCHULZ, M. Allelopathic cover crop of rye for integrated weed control in sustainable agroecosystems. *Italian Journal of Agronomy*, v. 8, p. 35-40, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TAVARES, C. J. et al. Fitossociologia de plantas daninhas na cultura do feijão. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 8, n. 1, p. 27–32, 2013.

TAYLORSON, R. B.; BORTHWIC, H. A. A. Light filtration by foliar canopies: significance for light-controlled weed seed germination. *Weed Science*, v. 7, n. 1, p. 148-151, 1969.

TEIXEIRA, I. R. et al. Arquitetura de planta e produtividade do feijoeiro em função do espaçamento entre fileiras e da densidade de semeadura. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 56, n. 5, p. 581-587, 2009.

TOSCO, G. Os benefícios da "chia" em humanos e animais. *Atualidades Ornitológicas*, n. 119, p. 7, 2004.

VICTORIA FILHO, R. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura do feijoeiro. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 4., 1994, Goiânia. Anais [...]. Goiânia: Embrapa-CNPAF, 1994.

WEATHERSPARK. Climate and average weather in Dois Vizinhos, Brazil. 2024.

WHITEHEAD, D. C.; DIBB, H.; HARTLEY, R. D. Extractant pH and the release of phenolic compounds from soil, plant roots, and leaf litter. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 13, p. 343-348, 1981.