

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE AGRONOMIA

GISELI FERNANDA SOBOLEVSKI

ALTERAÇÕES BIOQUÍMICAS EM MILHO SUBMETIDO À HERBIVORIA DE
***Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) SOB TRATAMENTO COM**
PREPARADOS HOMEOPÁTICOS E *Bacillus thuringiensis*

ERECHIM – RS

2026

GISELI FERNANDA SOBOLEVSKI

**ALTERAÇÕES BIOQUÍMICAS EM MILHO SUBMETIDO À HERBIVORIA DE
Spodoptera frugiperda (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) SOB TRATAMENTO COM
PREPARADOS HOMEOPÁTICOS E *Bacillus thuringiensis***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Agronomia da Universidade Federal da
Fronteira Sul – Campus Erechim, como parte das
exigências para obtenção do grau de Bacharel
em Agronomia.

Orientador (a): Profa. Dra. Tarita Cira Deboni
Coorientador (a): Profa. Dra. Denise Cargnelutti

ERECHIM - RS

2026

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Sobolevski, Giseli Fernanda

ALTERAÇÕES BIOQUÍMICAS EM MILHO SUBMETIDO À
HERBIVORIA DE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA:
NOCTUIDAE) SOB TRATAMENTO COM PREPARADOS HOMEOPÁTICOS E
Bacillus thuringiensis / Giseli Fernanda Sobolevski. --
2026.

29 f. : il.

Orientadora: Doutora Tarita Cira Deboni

Co-orientadora: Doutora Denise Cargnelutti

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, Erechim, RS, 2026.

I. Deboni, Tarita Cira, orient. II. Cargnelutti,
Denise, co-orient. III. Universidade Federal da
Fronteira Sul. IV. Título.

GISELI FERNANDA SOBOLEVSKI

**ALTERAÇÕES BIOQUÍMICAS EM MILHO SUBMETIDO À HERBIVORIA DE
Spodoptera frugiperda (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) SOB TRATAMENTO COM
PREPARADOS HOMEOPÁTICOS E *Bacillus thuringiensis***

Trabalho de conclusão de curso de
graduação apresentado como requisito
para obtenção de grau de Bacharel em
Agronomia da Universidade Federal da
Fronteira Sul.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 29/06/2026

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Tarita Cira Deboni - UFFS

Profa. Dra. Sandra Maria Maziero - UFFS

Profa. Dra. Paola Mendes Milanesi - UFFS

Erechim/RS, 2026

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é mais do que páginas escritas, é o reflexo de uma caminhada feita de sonhos, lágrimas e esperanças.

À minha família, que foi o chão firme sob meus pés. À minha mãe, Alice, que, mesmo diante das tempestades, segurou o mundo para que eu pudesse seguir em frente. Sua força é a luz que me guiou, e por ela serei eternamente grata.

Aos meus amigos, vocês transformaram o peso em leveza e me lembraram que a jornada é mais bonita quando compartilhada.

À minha orientadora e à minha coorientadora, que me ofereceram paciência e dedicação, como quem estende a mão em meio à travessia. Obrigada por acreditarem em mim e pelas oportunidades de aprendizado e de viagens que, em circunstâncias normais, não teriam sido possíveis.

E, por fim, agradeço a mim. À coragem de não desistir, ao coração que insistiu em acreditar, e à força que me trouxe até aqui. Este trabalho é também um espelho da minha própria resistência, nele guardo a certeza de que cada passo valeu a pena.

RESUMO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) apresenta grande importância agrícola, porém sua produtividade pode ser comprometida pelo ataque de insetos-praga, especialmente a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). O uso de estratégias sustentáveis, como o controle biológico com *Bacillus thuringiensis* (Bt) e preparados homeopáticos, tem sido estudado como alternativa para estimular mecanismos naturais de defesa das plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações bioquímicas em plantas de milho submetidas à herbivoria de *S. frugiperda* sob tratamento com preparados homeopáticos associados ao *B. thuringiensis*. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e no Laboratório de Entomologia e Bioquímica da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim, utilizando milho da variedade Cunha. Foram avaliados os tratamentos com *Chamomila* 6CH + Bt, *Nux vomica* 6CH + Bt e testemunha, em três períodos de avaliação: antes da aplicação dos tratamentos, após o tratamento e após a exposição às lagartas. Foram analisados o teor de proteínas solúveis e a atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (FAL), relacionada à ativação da rota dos fenilpropanoides e aos mecanismos de defesa vegetal. Os resultados indicaram que os tratamentos influenciaram as respostas bioquímicas das plantas, com destaque para *Chamomila* 6CH + Bt, que apresentou aumento na concentração de proteínas e maior atividade da FAL após a aplicação dos tratamentos. Após a herbivoria por *S. frugiperda*, os tratamentos mantiveram tendência de maior ativação metabólica em comparação à testemunha, embora com menor diferença estatística. Conclui-se que a associação entre preparados homeopáticos e *B. thuringiensis* pode estimular respostas bioquímicas relacionadas à resistência induzida em plantas de milho, apresentando potencial como ferramenta complementar no manejo sustentável da lagarta-do-cartucho.

Palavras-chave: resistência induzida; homeopatia vegetal; fenilalanina amônia-liase..

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is an important agricultural crop; however, its productivity can be affected by insect pests, especially the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). The use of sustainable strategies, such as biological control with *Bacillus thuringiensis* (Bt) and homeopathic preparations, has been investigated as an alternative approach to stimulate natural plant defense mechanisms. This study aimed to evaluate biochemical changes in maize plants subjected to *S. frugiperda* herbivory under treatment with homeopathic preparations associated with *B. thuringiensis*. The experiment was carried out in a greenhouse and in the Entomology and Biochemistry Laboratory of the Federal University of Fronteira Sul, Erechim Campus, using Cunha maize variety. The treatments consisted of *Chamomila* 6CH + Bt, *Nux vomica* 6CH + Bt, and untreated control, evaluated at three periods: before treatment application, after treatment, and after caterpillar exposure. Soluble protein content and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity were evaluated, as this enzyme is involved in the phenylpropanoid pathway and plant defense responses. The results showed that treatments affected plant biochemical responses, with emphasis on *Chamomila* 6CH + Bt, which promoted increases in protein concentration and higher PAL activity after treatment application. After *S. frugiperda* herbivory, treated plants maintained a tendency toward greater metabolic activation compared to the control, although with reduced statistical differences. It was concluded that the association between homeopathic preparations and *B. thuringiensis* may stimulate biochemical responses related to induced resistance in maize plants, representing a potential complementary tool for sustainable management of fall armyworm.

Keywords: induced resistance; plant homeopathy; phenylalanine ammonia-lyase.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios de proteína16

Tabela 2 – Ação enzimática da fenilalanina amônia-liase (FAL).....18

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DIC	Delineamento inteiramente casualizado
UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul
Bt	<i>Bacillus thuringiensis</i>
CH	Centesimal Hahnemanniana
FLD	Fundação Luterana de Diaconia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 METODOLOGIA.....	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4 CONCLUSÃO.....	19
REFERÊNCIAS.....	20
APÊNDICE.....	23

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais importantes do mundo, tanto economicamente quanto socialmente. Ele é amplamente cultivado em várias regiões e usado para diferentes finalidades. No Brasil, está presente em todos os estados e desempenha um papel fundamental na produção agropecuária. O aumento significativo da produtividade nas últimas décadas deve-se ao desenvolvimento de novas tecnologias de produção, ao melhoramento das variedades e à adoção de práticas de manejo mais eficientes pelos agricultores. Além de sua relevância na alimentação de pessoas e animais, o milho é uma matéria-prima na fabricação de vários produtos industriais, como biocombustíveis, bebidas e polímeros (Miranda, 2018).

Apesar de sua grande importância econômica, obter altas produtividades depende de estratégias adequadas de manejo. Isso é necessário porque a cultura enfrenta ataques de vários organismos fitopatogênicos e insetos, que podem prejudicar o crescimento das plantas e reduzir a produção (Miranda, 2018). A expansão de áreas cultivadas em monoculturas pode favorecer o estabelecimento e a multiplicação de insetos-praga, uma vez que a simplificação dos agroecossistemas reduz a diversidade biológica e altera as interações ecológicas responsáveis pela regulação natural das populações de insetos. Dessa forma, o manejo dessas espécies torna-se um dos principais desafios da agricultura, exigindo estratégias que conciliem produtividade e conservação dos serviços ecológicos (Silva, 2022).

Segundo Bueno *et al.* (2019), uma praga agrícola é caracterizada quando a população de um organismo atinge níveis que resultam em perdas econômicas, sendo o monitoramento e a tomada de decisão fundamentais para definir a necessidade de controle. Esses organismos podem atacar várias partes das plantas, afetando a qualidade comercial dos produtos, diminuindo a produtividade e, em casos mais graves, causando a morte das plantas (Cruz *et al.*, 2015). Entre as principais pragas do milho, destaca-se a lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Essa praga é uma das mais danosas para a cultura. Originária da região neotropical das Américas, a lagarta é polífaga e tem grande capacidade migratória, representando uma ameaça significativa à produção agrícola em várias partes do mundo (Bruce, 2020).

Sua presença pode levar a grandes perdas na produção, especialmente se o ataque ocorrer nas fases iniciais do desenvolvimento da cultura. Além disso, sua adaptação a diferentes plantas

hospedeiras e a resistência a inseticidas complicam o manejo e aumentam os desafios para seu controle (Kanno, 2019).

A identificação de *S. frugiperda* pode ser feita por características morfológicas, como uma marca em forma de “Y” invertido na parte frontal da cabeça das lagartas, faixas claras e pontos escuros pelo corpo (Oliveira *et al.*, 2023). O ciclo de infestação começa com a oviposição das mariposas nas folhas das plantas, seguida pela eclosão das lagartas. Inicialmente, elas raspam os tecidos foliares e, depois, consomem grandes áreas das folhas e do cartucho do milho.

A interação entre insetos herbívoros e plantas provoca várias respostas fisiológicas e bioquímicas nos vegetais. As lagartas mastigadoras da ordem Lepidoptera estão entre os principais insetos capazes de induzir respostas de defesa nas plantas, pois o dano causado pela herbivoria provoca alterações fisiológicas e bioquímicas no tecido vegetal, incluindo a ativação de mecanismos relacionados à resistência (Tavares *et al.*, 2011).

Durante a alimentação, substâncias presentes na saliva, na regurgitação e nas fezes dos insetos entram em contato com os tecidos vegetais, atuando como sinais que desencadeiam mecanismos específicos de defesa (Felton; Tumlinson, 2008; Ray *et al.*, 2015). As plantas reconhecem a herbivoria por meio de diferentes estímulos associados ao comportamento dos insetos, como alimentação, deslocamento sobre a folha, deposição de ovos e excreção (Pechan *et al.*, 2002; Peiffer *et al.*, 2009; Hilfiker *et al.*, 2014; Ray *et al.*, 2015).

Como resultado, as plantas ativam estratégias de defesa diretas e indiretas. As defesas diretas envolvem a produção de compostos que reduzem o desempenho dos herbívoros. As defesas indiretas consistem na emissão de substâncias voláteis que atraem inimigos naturais das pragas, ajudando a controlar suas populações (Chen, 2008). Assim, a herbivoria é uma das interações ecológicas mais importantes entre insetos e plantas, afetando a sobrevivência e a adaptação de ambas as partes (Fernandes, 2009).

Uma das alternativas para o manejo sustentável de insetos-praga é a bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt). Essa bactéria é o agente microbiológico mais utilizado no controle biológico de pragas agrícolas e florestais (Ortiz; Sansinenea, 2021). Foi inicialmente observada por Shigetane Ishiwata em 1901, e posteriormente descrita e nomeada por Ernst Berliner em 1915 (Ortiz; Sansinenea, 2021). O Bt pode ser encontrado naturalmente no solo, em plantas, na água, em resíduos orgânicos e em insetos mortos (Konecka *et al.*, 2012).

O potencial inseticida de *B. thuringiensis* se deve à produção de proteínas cristalinas conhecidas como Cry e Cyt, que são liberadas durante o processo de esporulação. Essas proteínas são altamente tóxicas para vários grupos de insetos e formam a base de muitos bioinseticidas usados atualmente (Lereclus *et al.*, 1993). Além dessas toxinas, a bactéria também produz proteínas inseticidas vegetativas (Vip) e outras substâncias biologicamente ativas, como quitinases, fosfolipases e hemolisinas (Santos *et al.*, 2022).

Monnerat *et al.* (2020) informam que as diferentes toxinas produzidas por Bt têm um amplo espectro de ação, afetando principalmente insetos das ordens Lepidoptera e Coleoptera, além de algumas linhagens apresentarem potencial para estimular o crescimento das plantas.

Além das estratégias convencionais de manejo, a homeopatia tem sido estudada como uma alternativa complementar na agricultura agroecológica. Essa abordagem, baseada no princípio da similitude, usa substâncias altamente diluídas e dinamizadas em escalas específicas, como centesimal hahnemanniana (CH), decimal hahnemanniana (DH) e cinquenta milesimal (LM) (Nechar, 2009; Casali *et al.*, 2006). Desenvolvida por Samuel Hahnemann no final do século XVIII, a homeopatia inicialmente tratava problemas de saúde humanos, mas depois foi adaptada para uso na produção vegetal e animal (Pustiglione *et al.*, 2017).

Na agricultura, os preparados homeopáticos têm sido usados para estimular processos fisiológicos, aumentar a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos, e ajudar no manejo de doenças e insetos (Casali *et al.*, 2006; Andrade; Casali, 2023). De acordo com o Ministério da Agricultura (Brasil, 2014), esses preparados podem ajudar a equilibrar a saúde das plantas e integrar estratégias sustentáveis de produção, especialmente em sistemas agroecológicos que buscam reduzir a dependência de insumos químicos sintéticos.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de preparados homeopáticos de *Nux vomica* 6CH e *Chamomila* 6CH, associados a *Bacillus thuringiensis*, sobre as respostas bioquímicas de plantas de milho submetidas à herbivoria de *Spodoptera frugiperda*, por meio da análise da atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (FAL) e do teor de proteínas solúveis, buscando compreender possíveis alterações relacionadas aos mecanismos de defesa vegetal.

2 METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos em estufa e no laboratório de Entomologia e Bioquímica da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Erechim. As sementes de milho utilizadas no experimento não receberam tratamento prévio de sementes e pertenciam à variedade crioula Cunha (Figura 1). O material foi obtido junto a Fundação Luterana de Diaconia (FLD) Programa CAPA de Agroecologia, localizada em Erechim-RS.

O cultivo das plantas de milho foi realizado em casa de vegetação, utilizando vasos de polietileno com capacidade de 22 litros (boca=35,5 cm x base = 25,5 cm x altura 29,0 cm) (Figura 2), permanecendo até o estágio fenológico V7 (Figura 3). O substrato foi constituído por uma mistura de solo tipo Latossolo Vermelho Aluminoférrico Típico, composto orgânico e areia, na proporção 5:2,5:1. Em cada vaso foram semeadas cinco sementes de milho.

As lagartas de *Spodoptera frugiperda* foram provenientes da criação mantida no Laboratório de Entomologia e Bioquímica da Universidade (Figura 8). Os insetos foram mantidos em sala climatizada, sob temperatura de 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 12 horas. As lagartas foram alimentadas com dieta artificial, sendo esta substituída sempre que necessário para garantir a adequada nutrição e o desenvolvimento dos insetos. Para a condução do experimento, foram utilizadas 45 lagartas, que estavam no quarto ínstar.

Os tratamentos foram constituídos por preparados homeopáticos (Figura 4) misturados ao produto comercial a base de *Bacillus thuringiensis* (Bt) (Figura 5), e seguiram a seguinte combinação: T1= *Chamomila* 6 CH + Bt, T2= *Nux vomica* 6 CH + Bt e T3= Testemunha. Foram usados 0,5 mL de Bt por vaso, sendo o Bt obtido em uma biofábrica *on farm* na cidade de Áurea, RS. Junto com o Bt foram misturados 0,5 mL da homeopatia, preparada na sala de homeopatia do Laboratório de Agroecologia da Universidade Federal da Fronteira Sul, segundo a Farmacopéia Homeopática Brasileira (Brasil, 2011). A calda total foi de 100 mL por vaso, sendo usados borrifadores transparentes para a pulverização sobre as plantas (Figura 6). O experimento foi conduzido em DIC (delineamento inteiramente casualizado), com três tratamentos, três tempos de coleta e quatro repetições.

A avaliação bioquímica das plantas ocorreu a partir de amostras foliares do milho coletadas em três momentos. O momento inicial, antes da aplicação dos tratamentos, foi chamado de controle. As plantas de milho estavam em estágio fenológico V7, 75 dias após a

semeadura. As plantas foram selecionadas de forma aleatória dentro de cada vaso, evitando a coleta repetida do mesmo indivíduo vegetal, com o objetivo de obter uma avaliação bioquímica inicial das plantas.

Após essa coleta inicial, foi realizada a pulverização dos tratamentos. As plantas permaneceram por dois dias sob ação dos tratamentos, esse período foi adotado visando permitir a interação dos tratamentos com o metabolismo vegetal antes da exposição ao inseto. Decorrido esse período, foi realizada uma segunda coleta de folhas, utilizando-se uma nova planta de cada vaso.

Em seguida a esta segunda coleta, os vasos contendo as plantas de milho submetidas aos tratamentos foram individualizados e acondicionados em telados de 1m³ (1m de altura x 1m de largura x 1m de comprimento) (Figura 7), revestidos com tecido voil branco. Em cada planta foram liberadas três lagartas de quarto ínstar de *S. frugiperda*, permanecendo em contato com as plantas por um período de sete dias. Ao final desse período, foi realizada uma terceira coleta da região do cartucho, utilizando-se mais uma planta por vaso.

Em todos os três momentos de coletas foliares, as amostras foram imediatamente acondicionadas em papel alumínio e colocadas submersas em nitrogênio líquido para transporte (Figura 9). No laboratório foram armazenadas em ultrafreezer a -80 °C até a realização das análises.

Todas as amostras foram maceradas em nitrogênio líquido (Figura 10) e homogeneizadas em 3 mL de tampão fosfato de sódio 0,05 M (pH 7,8), contendo 0,1 mM EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético) e 2% de PVP (poli-vinil-pirrolidona) (Figura 11).

O homogeneizado obtido a partir das amostras da região do cartucho foi centrifugado a 12.000 rpm por 20 minutos a 4°C (Figura 13), sendo o sobrenadante coletado e utilizado posteriormente para as avaliações, realizadas em duplicata (Figura 12).

Para a análise da proteína, foram adicionados 50 µL do extrato proteico a 2,5 mL do reagente de Bradford. Após cinco minutos de incubação, procedeu-se à leitura da absorbância em espectrofotômetro a 595 nm (Figura 14). A concentração de proteínas nas amostras foi determinada por comparação com uma curva padrão elaborada a partir de concentrações conhecidas de albumina de soro bovino (ASB). Os resultados foram expressos em mg de proteína L⁻¹.

A atividade da fenilalanina amônia-liase (FAL) foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Umesha (2006) e modificada por Mioranza *et al.* (2017). Para a análise, foram adicionados 100 µL do extrato proteico a 400 µL de tampão Tris-HCl 0,025 M (pH 8,8) e 500 µL de uma solução de L-fenilalanina 0,05 M. A mistura foi incubada a 40 °C por 2 horas. Em seguida, a absorbância foi determinada em espectrofotômetro a 290 nm.

As análises dos dados foram realizadas de acordo com o delineamento experimental do experimento. Os pressupostos de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) foram conferidos. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) utilizando o *software* estatístico R (R Core Team, 2018) e o pacote *Experimental Designes* (Portuguese) (Ferreira; Cavalcanti; Nogueira, 2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da concentração de proteínas totais na região do cartucho das plantas de milho são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios da concentração de proteína (mg mL^{-1}) na parte do cartucho de milho (*Zea mays*) submetido aos tratamentos Testemunha, *Nux vomica* 6CH + *Bacillus thuringiensis* (Bt), *Chamomila* 6CH + *Bacillus thuringiensis* (Bt), avaliados nos períodos de Controle, Após tratamento e Após lagarta. Erechim, 2026.

Tratamentos	Controle	Após tratamento	Após lagarta
Testemunha	2,38 ns	3,12 b	3,48 ns
Nux-v. + Bt	3,22	3,27 b	4,31
Cham + Bt	2,73	4,71 a	4,41
CV (%)	15,62%	18,11%	23,63%

Médias acompanhadas da mesma letra não apresentam diferença estatística significativa entre si, conforme o teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$). ns: não significativo ao teste de médias. **Fonte:** Autor, 2026.

Antes da aplicação dos tratamentos, não foram observadas diferenças significativas no teor de proteínas entre os tratamentos ($p = 0,0637$), indicando que as plantas apresentavam condições bioquímicas iniciais semelhantes. Esse resultado demonstra que os tratamentos iniciaram o experimento em condições fisiológicas equivalentes, permitindo avaliar posteriormente possíveis alterações metabólicas induzidas pelas aplicações.

Após a aplicação dos tratamentos, observou-se aumento significativo no teor de proteínas ($p = 0,0155$), sendo o tratamento *Chamomila* + Bt responsável pela maior média ($4,71 \text{ mg L}^{-1}$), diferindo dos tratamentos *Nux vomica* + Bt ($3,27 \text{ mg L}^{-1}$) e testemunha ($3,12 \text{ mg L}^{-1}$). O aumento no conteúdo proteico após a aplicação dos tratamentos pode estar relacionado à ativação do metabolismo de defesa das plantas. Em situações de estímulo biótico ou elicitação, plantas podem alterar seu metabolismo primário, direcionando recursos para a síntese de proteínas envolvidas em respostas de proteção, como enzimas antioxidantes, proteínas relacionadas à defesa e proteínas associadas à sinalização celular.

As plantas não permanecem passivas quando submetidas ao ataque de predadores. Elas desenvolvem mecanismos de defesa ativos, produzindo novas moléculas, incluindo proteínas e enzimas especializadas, que atuam como proteção contra os herbívoros. Essas respostas são desencadeadas justamente pelo estresse causado pela herbivoria (Pinto *et al.*, 2011).

Resultados semelhantes foram observados por Carra *et al.* (2025), em estudo realizado com milho submetido à herbivoria por *Spodoptera frugiperda* e tratamentos com altas diluições dinamizadas, onde foram avaliadas alterações bioquímicas relacionadas à indução de resistência. Os autores destacam que estímulos externos podem modificar parâmetros metabólicos das plantas, incluindo compostos associados às respostas defensivas.

A maior concentração proteica observada em *Chamomila* + Bt sugere que esse tratamento pode ter promovido uma maior ativação metabólica nas plantas, favorecendo o acúmulo de proteínas solúveis. Esse comportamento pode estar relacionado ao processo conhecido como resistência induzida, no qual a planta passa a apresentar maior capacidade de resposta após receber um estímulo inicial.

Segundo Pascholati e Dalio (2018), a indução de resistência em plantas ocorre por meio de alterações fisiológicas e bioquímicas que envolvem a ativação de mecanismos de defesa antes mesmo da presença do agente agressor. Esse processo pode envolver aumento na produção de proteínas, enzimas relacionadas ao estresse oxidativo e compostos secundários.

Além disso, proteínas presentes nos tecidos vegetais podem atuar diretamente na interação planta-inseto. Estudos realizados no Brasil demonstram que algumas proteínas vegetais apresentam efeito sobre o desenvolvimento de *S. frugiperda*, interferindo no crescimento e no metabolismo da praga, evidenciando a importância do conteúdo proteico como componente da defesa vegetal (Oliveira *et al.*, 2020). Após a infestação por *S. frugiperda*, apesar de não ter ocorrido diferença estatística entre os tratamentos ($p = 0,3650$), observou-se tendência de maior

teor proteico nos tratamentos com homeopatia associada ao Bt, com valores de 4,41 mg L⁻¹ para *Chamomila* + Bt e 4,31 mg L⁻¹ para *Nux vomica* + Bt, enquanto a testemunha apresentou 3,48 mg L⁻¹.

Esse comportamento sugere que os tratamentos podem ter proporcionado uma preparação metabólica inicial das plantas, porém a presença da lagarta promoveu uma resposta geral de defesa que reduziu as diferenças entre os tratamentos. De acordo com estudos brasileiros envolvendo *S. frugiperda*, a interação entre inseto e planta é complexa, pois a lagarta possui alta capacidade adaptativa e pode modificar a resposta defensiva do milho durante a alimentação. Dessa forma, os resultados indicam que a maior alteração no metabolismo proteico ocorreu no período imediatamente após a aplicação dos tratamentos, principalmente em *Chamomila* + Bt, sugerindo uma possível ativação precoce de mecanismos de defesa. Entretanto, após a herbivoria, essa diferença tornou-se menos evidente, indicando que respostas bioquímicas induzidas podem ser dependentes do momento de avaliação e da intensidade do estresse aplicado.

Nesse contexto, além das alterações no metabolismo proteico, a avaliação de enzimas relacionadas aos mecanismos de defesa contribui para uma compreensão mais abrangente das respostas bioquímicas das plantas ao estresse biótico. A herbivoria desencadeia uma reprogramação metabólica que direciona carbono para a via dos fenilpropanoides, favorecendo a síntese de compostos envolvidos na resistência vegetal. Entre as primeiras respostas observadas está a ativação da fenilalanina amônia-liase (FAL), considerada um dos principais marcadores da indução de defesa por participar da produção de lignina, flavonoides e outros metabólitos fenólicos relacionados à proteção contra insetos herbívoros (Wu et al., 2025).

A FAL é uma enzima-chave no início da via dos fenilpropanoides, sendo responsável pela conversão da fenilalanina em ácido trans-cinâmico, etapa inicial para a síntese de compostos fenólicos, lignina e flavonoides, importantes na defesa vegetal (Taiz et al., 2017).

Os valores médios da atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (FAL) nas folhas de milho (*Zea mays* L.), submetidas aos preparados homeopáticos associados ao *Bacillus thuringiensis* (Bt), nos três momentos de avaliação, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Atividade da fenilalanina amônia-liase (μmol) em folhas de milho submetidas submetido aos tratamentos Testemunha, *Nux vomica* 6CH + *Bacillus thuringiensis* (Bt), *Chamomila* 6CH + *Bacillus thuringiensis* (Bt), avaliados nos períodos de Controle, Após tratamento e Após lagarta. Erechim, 2026.

Tratamentos	Controle	Após tratamento	Após lagarta
Testemunha	0,00198 ns	0,00049 b	0,00074 ns
Nux-v 6CH+ Bt	0,00202	0,00091 ab	0,00114
Cham 6CH + Bt	0,00200	0,00148 a	0,00103
CV (%)	18,48%	46,44%	27,71%

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Autor, 2026.

Antes da aplicação dos tratamentos, não foram observadas diferenças significativas na atividade da fenilalanina amônia-liase (FAL) entre os grupos ($p = 0,9892$), indicando ausência de ativação diferencial da via dos fenilpropanoides. Esse resultado demonstra que, inicialmente, as plantas apresentavam metabolismo de defesa em nível basal, sem estímulos bióticos ou químicos capazes de induzir a rota fenilpropanoide.

Após a aplicação dos tratamentos, observou-se diferença significativa na atividade da FAL ($p = 0,0360$), sendo o tratamento *Chamomila* + Bt aquele com maior média (0,0014775), seguido por *Nux vomica* + Bt (0,00091) e testemunha (0,0004925). Esse aumento indica ativação da via dos fenilpropanoides, sugerindo indução de respostas de defesa nas plantas. Em sistemas vegetais, a ativação da FAL está diretamente associada à síntese de compostos fenólicos com função estrutural e antimicrobiana, além de atuar no reforço da parede celular, o que dificulta a ação de herbívoros e patógenos.

De acordo com estudos relacionados à indução de resistência em plantas, a atividade da fenilalanina amônia-liase (FAL) é considerada um importante marcador bioquímico associado à ativação dos mecanismos de defesa vegetal, pois participa da rota dos fenilpropanoides, responsável pela síntese de compostos fenólicos envolvidos na proteção das plantas (Pascholati; Dalio, 2018).

O aumento mais expressivo observado no tratamento *Chamomila* + Bt sugere que essa combinação pode ter promovido uma maior ativação das respostas de defesa da planta,

estimulando o metabolismo secundário e a produção de compostos relacionados à resistência. Esse comportamento pode estar associado ao processo de resistência induzida, no qual a planta, após receber um estímulo externo, ativa mecanismos bioquímicos capazes de aumentar sua capacidade de resposta diante de situações de estresse (Bonaldo; Pascholati; Romeiro, 2005).

A elevação da atividade da FAL em plantas submetidas a tratamentos indutores também pode estar relacionada ao aumento do fluxo metabólico pela rota dos fenilpropanoides, resultando na formação de compostos fenólicos, lignina e outros metabólitos que contribuem para o fortalecimento das barreiras estruturais e químicas da planta (Pascholati; Dalio, 2018). Estudos avaliando a indução de resistência em culturas agrícolas demonstram que a atividade da FAL pode ser alterada conforme o tipo de estímulo aplicado, a intensidade da resposta e o estágio fisiológico da planta, indicando que essa enzima atua como parte de uma resposta dinâmica de defesa vegetal (Lorenzetti *et al.*, 2018).

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que o tratamento *Chamomila* 6 CH + Bt apresenta os maiores valores de proteína total e atividade da FAL, indicando maior ativação dos mecanismos de defesa vegetal em milho precedendo a herbivoria por *S. frugiperda*.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Fernanda Maria Coutinho de; CASALI, Vicente Wagner Dias. Homeopatia: saúde e transição agroecológica. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Brasília, v. 18, n. 5, p. 431-450, 2023. DOI: 10.33240/rba.v18i5.51215.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Farmacopeia Homeopática Brasileira**. 3. ed. Brasília: ANVISA, 2011.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 17, de 18 de junho de 2014: normas técnicas para a produção orgânica**. Brasília: MAPA, 2014.
- BONALDO, S. M.; PASCHOLATI, S. F.; ROMEIRO, R. S. Indução de resistência: noções básicas e perspectivas. In: PASCHOLATI, S. F. et al. (Ed.). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: FEALQ, 2005.
- BUENO, A. F.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F.; BUENO, R. C. O. F. Inimigos naturais e manejo de pragas agrícolas. In: HOFFMANN-CAMPO, C. B. et al. **Manejo integrado de pragas no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2019.
- BRUCE, T. This “very hungry caterpillar” is wreaking havoc on crops around the world. **World Economic Forum**, 2020. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2019/07/fall-armyworm-asia-devastating-crops/>. Acesso em: 05 jun. 2026.
- CARRA, K. T.; LIMA, L. A. R.; PERKUHN, M. N.; CARGNELUTTI, D.; DEBONI, T. C. Alterações bioquímicas em folhas de milho expostas à herbivoria de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) e tratadas com altas diluições dinamizadas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, 2025.
- CASALI, V. W. D.; CASTRO, D. M.; ANDRADE, F. M. C.; LISBOA, S. P. **Homeopatia: bases e princípios**. Viçosa: UFV, 2006. 150 p.
- CRUZ, I.; VIANA, P. A.; WAQUIL, J. M. Pragas. In: PEREIRA FILHO, I. A. (Ed.). **Cultivo do milho**. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.
- CHEN, E. M. Direct induced defence in plants against insect herbivores: a review. **Insect Science**, v. 15, p. 101-114, 2008.
- FELTON, G. W.; TUMLINSON, J. H. Plant-insect dialogs: complex interactions at the plant-insect interface. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 11, p. 457-463, 2008.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes.pt: **experimental designs package (Portuguese)**. R package version 1.2.0, 2018.
- FERNANDES, C. F. et al. **Mecanismos de defesa de plantas contra o ataque de agentes fitopatogênicos**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2009. 14 p. (Documentos, 133).

HILFIKER, O.; GROUX, R.; BRUESSOW, F.; KIEFER, K.; ZEIER, J.; REYMOND, P. Insect eggs induce systemic acquired resistance in Arabidopsis. **The Plant Journal**, v. 80, p. 1085-1094, 2014.

KANNO, R. H. **Bases para um programa de manejo da resistência de *Spodoptera frugiperda* a inseticidas no Brasil**. 2019. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

KONECKA, E. et al. Insecticidal activity of *Bacillus thuringiensis* strains isolated from soil and water. **The Scientific World Journal**, v. 2012, p. 1-6, 2012.

LERECLUS, D.; DELÉCLUSE, A.; LECADET, M. M. Diversity of *Bacillus thuringiensis* toxins and genes. In: ENTWISTLE, P. F.; CORY, J. S.; BAILEY, M. J.; HIGGS, S. (ed.). **Bacillus thuringiensis: an environmental biopesticide: theory and practice**. Chichester: John Wiley & Sons, 1993. p. 37-69.

LORENZETTI, E.; STANGARLIN, J. R.; KUHN, O. J.; PORTZ, R. L. Indução de resistência à *Macrophomina phaseolina* em soja tratada com extrato de alecrim. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 44, n. 1, p. 45-50, 2018. DOI: 10.1590/0100-5405/176895.

MIORANZA, Thaísa M. et al. Control of *Meloidogyne incognita* in tomato plants with highly diluted solutions of *Thuya occidentalis* and their effects on plant growth and defense metabolism. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 2187–2200, 2017.

MIRANDA, R. A. Uma história de sucesso da civilização. **A Granja**, Porto Alegre, v. 74, n. 829, p. 24-27, 2018.

MONNERAT, R. G. et al. **Produção e controle de qualidade de produtos biológicos à base de bactérias do gênero *Bacillus* para uso na agricultura**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2020. 46 p. (Documentos, 369).

NECHAR, R. M. C. **A complexidade no ensino da homeopatia**. 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

OLIVEIRA, C. T. et al. Effects of a reserve protein on *Spodoptera frugiperda* development: a biochemical and molecular approach to the entomotoxic mechanism. **Molecules**, v. 25, n. 9, 2020.

OLIVEIRA, I. R. de et al. **Manejo de lagarta-do-cartucho em sistemas de produção integrados com braquiária**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2023.

ORTIZ, A.; SANSINENEA, E. Biopesticides based on *Bacillus thuringiensis* for integrated crop management. In: RAKSHIT, A. et al. (ed.). **Biopesticides: advances in bioinoculants**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2021. v. 2, p. 1-16.

PASCHOLATI, S. F.; DALIO, R. J. D. **Fisiologia do parasitismo: como as plantas se defendem de patógenos e pragas**. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (org.). **Manual de fitopatologia**. 5. ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2018.

PECHAN, T.; COHEN, A.; WILLIAMS, W. P.; LUTHE, D. S. Insect feeding mobilizes a unique plant defense protease that disrupts the peritrophic matrix of caterpillars. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 99, p. 13319-13323, 2002.

PEIFFER, M.; TOOKER, J. F.; LUTHE, D. S.; FELTON, G. W. Plants on early alert: glandular trichomes as sensors for insect herbivores. **New Phytologist**, v. 184, p. 644-656, 2009.

PINTO, M. S. T.; RIBEIRO, J. M.; OLIVEIRA, E. A. G. O estudo de genes e proteínas de defesa em plantas. **Revista Brasileira de Biociências**, 2011.

PUSTIGLIONE, M.; GOLDENSTEIN, E.; CHENCINSKI, M. Homeopatia: um breve panorama desta especialidade médica. **Revista de Homeopatia**, v. 80, n. 1-2, p. 1-10, 2017.

R CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: **R Foundation for Statistical Computing**, 2018. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 22 jun. 2026.

RAY, S.; GAFFOOR, I.; ACEVEDO, F. E.; HELMS, A. M.; CHUANG, W. P.; TOOKER, J. F.; FELTON, G. W.; LUTHE, D. S. Maize plants recognize herbivore-associated cues from caterpillar frass. **Journal of Chemical Ecology**, v. 41, p. 781-792, 2015.

SANTOS, E. N. et al. *Bacillus thuringiensis*: from biopesticides to anticancer agents. **Biochimie**, v. 192, p. 83-90, 2022.

SILVA, André Felipe Cândido da. **Pragas, patógenos e plantas na história dos sistemas agroecológicos**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas, Belém, v. 17, n. 1, e20210023, 2022. DOI: 10.1590/2178-2547-BGOELDI-2021-0023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TAVARES, W. S.; CRUZ, I.; SILVA, R. B.; FIGUEIREDO, M. L. C.; PEREIRA, A. A.; SERRÃO, J. E.; ZANUNCIO, J. C. Effects of insect herbivory on the induction of plant defense mechanisms. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 11, p. 1323-1330, 2011.

WU, X.; ZHU, S.; HE, L.; CHENG, G.; et al. Phenylalanine Ammonia-Lyase: A Core Regulator of Plant Carbon Metabolic Flux Redistribution—From Molecular Mechanisms and Growth Modulation to Stress Adaptability. **Plants**, v. 14, 2025.

UMESHA, S. Phenylalanine ammonia lyase activity in tomato seedlings and its relationship to bacterial canker disease resistance. **Phytoparasitica**, v. 34, n. 1, p. 68-71, 2006.

APÊNDICE – Imagens complementares

Figura 1: Semeadura



Fonte: Autor, 2026.

Figura 2: Crescimento



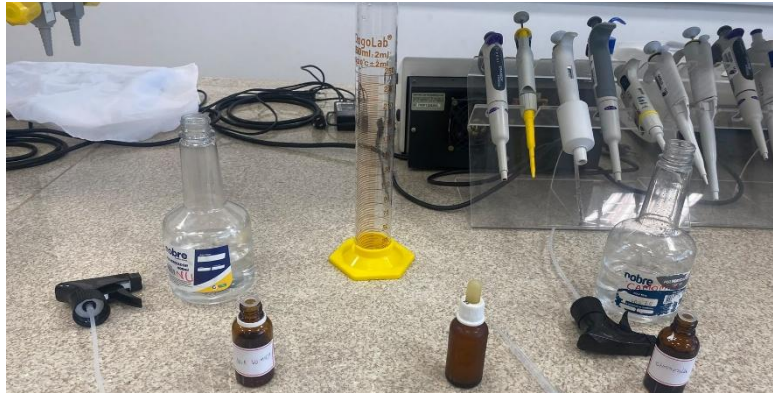
Fonte: Autor, 2026.

Figura 3: 75 dias após a germinação



Fonte: Autor, 2026.

Figura 4: Separação do material



Fonte: Autor, 2026.

Figura 5: Montagem dos tratamentos



Fonte: Autor, 2026.

Figura 6: Pulverização dos tratamentos



Fonte: Autor, 2026.

Figura 7: Telado



Fonte: Autor, 2026.

Figura 8: Lagartas



Fonte: Autor, 2026.

Figura 9: Papel alumínio



Fonte: Autor, 2026.

Figura 10: Maceração



Fonte: Autor, 2026.

Figura 11: Segunda maceração



Fonte: Autor, 2026.

Figura 12: Sobrenadante



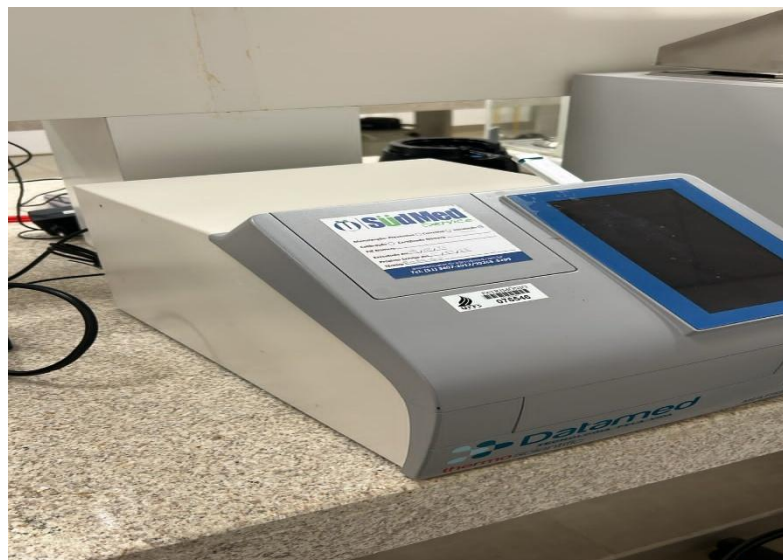
Fonte: Autor, 2026.

Figura 14: Centrifugação



Fonte: Autor, 2026.

Figura 13: Espectrofotômetro



Fonte: Autor, 2026.