

CAMILLA DOS SANTOS BARBOSA

**AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DE INSETICIDAS CONVENCIONAIS E
BOTÂNICOS, ISOLADAMENTE E EM COMBINAÇÃO SOBRE *Spodoptera*
*frugiperda***

São Cristóvão – SE

Abril - 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS – CCAA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÔNOMICA – DEA

**AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DE INSETICIDAS CONVENCIONAIS E
BOTÂNICOS, ISOLADAMENTE E EM COMBINAÇÃO SOBRE *Spodoptera
frugiperda***

**Monografia apresentada ao Departamento de
Engenharia Agrônoma – Universidade Federal
de Sergipe, como requisito parcial para obtenção
do título de Engenheira Agrônoma.**

APROVADO em: 04 de abril de 2025

ORIENTADA:

Prof. Dr. Leandro Bacci

Dr^ª. Virgínia Elena Masiulionis
(Banca examinadora)

Dr^ª. Jaciele de Oliveira Dantas
(Banca examinadora)

Ao meu pai, José do Nascimento Barbosa (*In memoriam*),

À minha avó, Josefa Simões Irmã (*In memoriam*),

À minha, mãe Joseane Ferreira dos Santos,

Por todo amor incondicional,

Dedico e agradeço.

AGRADECIMENTOS

“Digo: o real não está na saída nem na chegada: ele se dispõe para a gente é na travessia”

Guimarães Rosa

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por nunca ter me abandonado e nem me deixado sentir sozinha, me dado forças e me presenteado com pessoas incríveis em todas as fases da minha vida.

À minha mãe, minha inspiração de força, amor, incentivo, esforço, dedicação e entrega. Por ter exercido a função de mãe com excelência e, desde os meus 5 anos, também de pai. Tudo que sou devo à senhora e tudo que almejo em me tornar é graças ao seu exemplo.

À Universidade Federal de Sergipe, pelo ensino gratuito de qualidade.

A COPES pelo apoio financeiro com projetos de pesquisas e auxílios, que contribuíram para a minha permanência na faculdade.

Ao meu orientador e professor, Leandro Bacci, pela oportunidade e confiança.

Ao meu coorientador e amigo Valfran Andrade, pela amizade, conselho, sugestão, correção, puxões de orelha e por ser símbolo de dedicação, superação e fé para todos que cruzam seu caminho. Você é muito especial.

À banca avaliadora, Jaciele Oliveira e Virgínia Elena, pela disponibilidade, pelas contribuições que irão enriquecer esse trabalho e pela gentileza que sempre tiverem comigo.

Ao Departamento de Engenharia Agrônômica, desde os funcionários de limpeza, secretários, seguranças, até os técnicos. Sem vocês, o DEA não funcionaria. Um agradecimento especial à Vânia e Seu Fernando.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação acadêmica e pessoal. Levarei e compartilharei todo conhecimento e experiências que adquiri. Destaco, com carinho, o professor Pedro Viegas, o professor Marco Querol e a professora Aline Vasconcelos, que sempre acreditaram em mim. Os levo como referências profissionais e humanas.

Aos meus companheiros de jornada desde o primeiro período, Tainara e Lucas, pelo companheirismo, lealdade e amizade durante esses 5 anos, sem soltar a mão um do outro. Dividir as alegrias e as angústias com vocês tornou essa trajetória mais leve e divertida. É uma vitória tripla.

A todos que fazem e fizeram parte do Laboratório de Manejo Integrado de Pragas, Rômulo, Heloísa, Swamy, Jefferson, Vinícius, Jane Kathellen, Geovânia, Sandy, Yasmin, Mikaele e Jamile, por toda ajuda, sugestão, risadas, surtos, “fechos”, bolo de banana e

convivência. Em especial à Jeovana, que chegou na hora certa no laboratório com seu amor, genuidade e luz, tornando-se uma grande amiga.

“Um amigo fiel é uma poderosa proteção: quem o achou, descobriu um tesouro”

Eclesiastes 6:14

A Isaac, pela amizade, lealdade, construção de sonhos e pelas horas no *Meet* me fazendo companhia enquanto eu escrevia o TCC. À Lorrana, por toda amizade, cumplicidade, otimismo e suporte. À Geovana por todo carinho, preocupação e palavras de conforto. À Amelinha, pelo ânimo e alegria a cada encontro na UFS. À Bruna, pelo apoio que me deu em todas as fases da faculdade. A Ricardo, por ser inspiração de autenticidade, humildade e alto-astrol. À Maísa, minha primeira amiga do ensino fundamental, que hoje tenho o privilégio de chamar de madrinha. Dentre outros amigos que se fizeram essenciais nessa caminhada, Junior, Joana, Aldo, Letícia, João Victor, Pedro Hugo, Zé Vitor, Luiz, Diego, Sheillinha, Kimbelly, Laura, Lucas, Santiago, Lucas Tavares, Lazinho, Kayque e Gustavo, muito obrigada!!

Aos meus amigos do ensino médio, Kauane, Milena, Poly, Lucas, Enzo, Filipe, Monique, Emerson, PH, Vicente, Sales, Valesca e Luís Fernando. Outrora, sonhamos por um futuro digno, por uma vaga na universidade, caminhos abertos... Hoje, celebramos juntos as conquistas individuais que se tornaram coletivas.

Aos amigos da graduação, Isabela, Guiomar, Ellen, Ari, Diego, Lessandro, Leonel, Victoria, Ana Vitória e Thomaz, torço pelo sucesso profissional de cada um.

Aos meus amigos da veterinária, Izabelly e Guilherme, com quem os cafés no Moura eram sempre acompanhados de muitas gargalhadas.

À diversidade da universidade, na qual pude conhecer e dividir momentos felizes com pessoas importantes como Lívia (reservamos a mesma mesa da Bicen durante o processo de escrita e estudo), João Carlos, Lanna, Leonel, Arthur, Isadora, Valéria, Lidiane, Aislaine, Analu, Ellen, Andreaw, João Vinícius, Isabel, Francisco, Moniz, Clarinha e Nádja. Sou muito sortuda em ter encontrado vocês.

Ao Projeto Nadar UFS, que foi minha válvula de escape. Além de poder aprender a nadar, conheci pessoas maravilhosas como Mel, Tainara, Sol, Jefferson, Dudu, Rafa, Jeane e Klécio. Levarei vocês no meu coração.

Às minhas “tias” do Resun e demais colaboradores, especialmente ao meu amigo Chapolin (*in memoriam*) que sempre me recebia com um sorriso no rosto na hora do almoço.

Aos desconhecidos que são amigos a nossa espera. Desde os amigos que fiz na fila do Resun, na praça do DEA, nas cadeiras do Moura, nas aulas de natação, na didática 2, nas calouradas... e que, por acaso do destino, transformaram-se em vínculos verdadeiros.

À minha família, que vibra, apoia, acredita e torce por mim, colocando em prática o verdadeiro significado desse nome.

A meu pai (*in memoriam*), mesmo não estando presente fisicamente, sei que cuida e se orgulha de mim.

Aos meus avós maternos e paternos (*in memoriam*), cujos cuidados guardo com carinho no coração.

Às minhas primas Letícia, Syang e Juliana, por sempre estarem na torcida por mim.

Às minhas tias, Keka e Girleide, por todo apoio e suporte. A tio Dui e aos meus primos Kauan e Kelvin, pela disponibilidade em me levar ao ponto todas as vezes em que estive atrasada. A meu padrinho Del, por acreditar no meu potencial. Às minhas irmãs Silvana e Verônica pelo afeto e carinho.

Ao meu padrasto, Tonho, por todo zelo, amor e por cuidar da minha mãe nesse tempo em que fiquei fora de casa, sempre acompanhando-a quando ela ia me buscar à noite no ponto.

Aos meus afilhados, José Vitor e Aurora, me perdoem a ausência. Dói perder seu crescimento, mas prometo ser a madrinha legal. Torço que se tornem pessoas gentis e felizes no futuro.

Ao meu gato, José Bruce, por sempre perceber como eu estava e me fazer companhia todas as noites antes de dormir, com sua presença silenciosa e afetuosa.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha formação pessoal e acadêmica. Não teria chegado até aqui sem essa rede de apoio.

Viver e não ter a vergonha de ser feliz
Cantar e cantar e cantar
A beleza de ser um eterno aprendiz
Ah, meu Deus, eu sei,
Que a vida devia ser bem melhor e será
Mas isso não impede que eu repita
É bonita, é bonita e é bonita
O que é o que é – Gonzaguinha

SUMÁRIO

LISTAS DE FIGURAS	vii
LISTAS DE TABELAS	ix
RESUMO	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
2.1 Milho.....	2
2.2 <i>Spodoptera frugiperda</i>	3
2.3 Resistência	5
2.4 Óleos essenciais	6
2.5 <i>Lippia sidoides</i>	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3.1 Obtenção dos insetos	8
3.2 Obtenção dos compostos	8
3.5 Toxicidade	10
3.6 Tempo letal	11
3.7 Combinações dos inseticidas convencionais com os compostos botânicos	11
3.8 Análises estatísticas	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4.1 Suscetibilidade da <i>Spodoptera frugiperda</i> aos inseticidas.....	12
4.2 Toxicidade	14
4.3 Sobrevivência e tempo letal	16
4.4 Combinações dos inseticidas convencionais com os compostos botânicos	17
5. CONCLUSÃO.....	18
6. REFERÊNCIAS	19

LISTAS DE FIGURAS

- Figura 1.** Identificação da lagarta *Spodoptera frugiperda*, evidenciando o “Y” invertido e os quatro pontos equidistantes no oitavo segmento abdominal, formando um quadrado..... 4
- Figura 2.** Macho (a) e fêmea (b) de *Spodoptera frugiperda*..... 4
- Figura 3:** Mortalidade de larvas de terceiro ínstar de *Spodoptera frugiperda* após 72 horas de exposição às doses recomendadas dos inseticidas clorfantriliprole, deltametrina e metomil aplicados com torre de Potter em larvas (exposição por contato direto), em folhas de milho (exposição por contato residual + ingestão) e em larvas e folhas de milho (exposição por contato direto + contato residual + ingestão). as linhas tracejadas e contínuas dentro dos boxplots representam a média e a mediana, respectivamente. As extremidades da caixa representam os percentis 25 e 75, as linhas do erro correspondem aos percentis 10 e 90 e os círculos representam os percentis 5 e 95. A linha tracejada representa o limiar mínimo de eficiência exigido para o inseticida, segundo os critérios de registro de inseticidas pelo ministério da agricultura, pecuária e abastecimento do brasil (MAPA)..... 14
- Figura 4:** Curvas de sobrevivência e tempo letal (TL₅₀) (média ± IC_{95%}) de larvas de terceiro ínstar de *Spodoptera frugiperda* após 72 horas de exposição às DL₉₀ dos inseticidas convencionais clorfantriliprole e deltametrina e dos inseticidas botânicos óleo essencial de *Lippia sidoides* e timol aplicados topicamente com o auxílio de uma microseringa. TL₅₀ = tempo letal necessário para matar 50% da população. Curvas de sobrevivência seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo método de Holm-Sidak. As extremidades das caixas representam os percentis 25 e 75% e a linha dentro da caixa a mediana. Os círculos representam a média e as linhas do erro o intervalo de confiança a 95%. 16
- Figura 5:** Mortalidade observada de larvas de terceiro ínstar de *Spodoptera frugiperda* após 72 h de exposição tópica aos inseticidas convencionais (clorfantriliprole e deltametrina) e aos inseticidas botânicos (óleo essencial de *Lippia sidoides* e timol) e mortalidades esperadas e observadas de suas misturas binárias nas doses correspondentes ao limite inferior (a) e superior (b) do intervalo de confiança da DL₅₀ de cada inseticida determinadas nos bioensaios de toxicidade. Clorfantriliprole (IC_{95%}

de cada inseticida determinadas nos bioensaios de toxicidade. Clorantraniliprole ($IC_{95\%} = 0,0507-0,107 \mu\text{g}/\text{mg}$), deltametrina ($IC_{95\%} = 0,00466-0,0139 \mu\text{g}/\text{mg}$), óleo essencial de *Lippia sidoides* ($IC_{95\%} = 2,29-3,13 \mu\text{g}/\text{mg}$) e timol ($IC_{95\%} = 4,04-4,92 \mu\text{g}/\text{mg}$). χ^2 tabelado = 3,84. χ^2 calculado > tabelado = sinergismo, χ^2 calculado < tabelado = aditismo..... 17

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1: Toxicidade por aplicação tópica do inseticida clorantraniliprole, deltametrina, do óleo essencial de <i>Lippia sidoides</i> (OE) e timol sobre larvas de terceiro ínstar de <i>Spodoptera frugiperda</i> , após 72 h de exposição.....	15
---	----

RESUMO

Spodoptera frugiperda, popularmente conhecida como lagarta-do-cartucho, é considerada uma praga-chave na cultura do milho, frequentemente atingindo surtos populacionais e causando sérios prejuízos econômicos. Para evitar ou minimizar os danos causados por essa praga, é feito o manejo tradicionalmente baseado no uso intensivo e contínuo de inseticidas organossintéticos e cultivares transgênicas. No entanto, essas estratégias têm enfrentado desafios devido ao surgimento de populações cada vez mais resistentes, o que exige o desenvolvimento de novas estratégias de controle. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia dos inseticidas clorantraniliprole e deltametrina, isoladamente e em combinação com o óleo essencial de *Lippia sidoides* e timol. Para isso, foram conduzidos bioensaios de suscetibilidade para confirmação da resistência, seguidos de testes de toxicidade para determinar as doses letais e a sobrevivência, para estabelecer o tempo de mortalidade. Além disso, foram conduzidos bioensaios com misturas binárias para avaliar as interações entre os compostos, caracterizando os efeitos em sinergismo, aditismo ou antagonismo. Os resultados encontrados confirmaram que a *S. frugiperda* apresenta resistência ao clorantraniliprole e à deltametrina. Entre os inseticidas testados, a deltametrina foi o mais tóxico ($DL_{50} = 0,00839 \mu\text{g}/\text{mg}$), enquanto o óleo essencial de *L. sidoides* destacou-se como a alternativa botânica mais eficaz ($DL_{50} = 2,690 \mu\text{g}/\text{mg}$). As misturas binárias entre os inseticidas sintéticos e o óleo essencial apresentaram efeito sinérgico, já o timol demonstrou efeito aditivo quando combinado com os inseticidas. Com esses resultados, conclui-se que a combinação de inseticidas sintéticos, deltametrina e clorantraniliprole com compostos botânicos, em especial o óleo essencial de *L. sidoides*, representa uma estratégia promissora para o controle da lagarta-do-cartucho, além de ser uma opção menos nociva ao meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: óleos essenciais, misturas binárias, sinergismo, clorantraniliprole, deltametrina.

1. INTRODUÇÃO

No cenário mundial, o milho (*Zea mays*) é considerado um dos principais cereais, sendo uma das culturas agrícolas de maior expressividade econômica. Essa importância se deve à versatilidade do grão, que pode ser usado para alimentação humana, na nutrição animal e em diversos segmentos da indústria (Souza *et al.*, 2020). Recentemente, o Brasil ultrapassou os Estados Unidos da América (EUA) e tornou-se o maior exportador de milho do mundo (FIESP, 2023). Devido a sua importância econômica global, o milho é uma das culturas que mais recebe investimentos em tecnologias, principalmente para o aumento da produtividade e a resistência à pragas e doenças. No entanto, mesmo com esses investimentos, a cultura ainda enfrenta desafios significativos, principalmente relacionados ao ataque de insetos-praga. Entre esses, destaca-se *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), popularmente conhecida como lagarta-do-cartucho, que é classificada como praga-chave no cultivo do milho (Santos *et al.*, 2024).

Originária das Américas, a *S. frugiperda* é uma importante praga em diversas culturas agrícolas da família Fabaceae, como soja (*Glycine max*), Poaceae, arroz (*Oryza sativa*) e Malvaceae, como algodão (*Gossypium hirsutum*) (Hardke, Lorenz e Leonard, 2015; Machado *et al.*, 2020). Porém, apresenta notável preferência por plantas da família Poaceae como o sorgo (*Sorghum bicolor*) e principalmente o milho (*Zea mays*) (Barros *et al.*, 2010; Montezano *et al.*, 2018). Esse inseto apresenta alta capacidade migratória, o que permitiu sua dispersão por vários países em diferentes continentes, incluindo África (Day *et al.*, 2017), Europa (Babendreier *et al.*, 2022) e Ásia (Tay *et al.*, 2023). Além disso, a lagarta-do-cartucho destaca-se por sua elevada voracidade alimentar, atacando o milho em diferentes estágios fenológicos. Essa espécie, também possui alta fecundidade e ciclo de vida curto, que, aliados às condições ambientais favoráveis, contribuem para que frequentemente essa praga atinja surtos populacionais, resultando em expressivos prejuízos econômicos (Silva *et al.*, 2024).

Tradicionalmente, o controle da *S. frugiperda* é baseado na utilização de inseticidas organossintéticos e no uso de variedades de milho geneticamente modificadas (Eghrari *et al.*, 2019; Moscardini *et al.*, 2020), que usam genes da bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt) para que as plantas de milho expressem proteínas com ação inseticida (Burtet *et al.*, 2017). No entanto, o uso exagerado e de forma contínua dessas tecnologias, favoreceram o surgimento de populações de *S. frugiperda* resistentes a diversas classes de inseticidas, entre elas os piretróides, organofosforados, carbamato e diamidas (Carvalho *et al.*, 2013). Além disso, o manejo inadequado nos cultivos Bt, sem o plantio de áreas de refúgio (porcentagem da área reservada para o cultivo de plantas não Bt), provocaram pressão de seleção sobre a *S.*

frugiperda, favorecendo o surgimento de populações resistentes às proteínas *CryIF* e *CryIAb* expressas em milho Bt (Farias *et al.*, 2014; Machado *et al.*, 2020). A resistência dessa praga, dificulta o seu controle e compromete a produtividade das lavouras, exigindo novas tecnologias ou estratégias que sejam capazes de controlar essa praga e de manejar a sua resistência.

Uma possível alternativa é o uso de inseticidas botânicos, como os óleos essenciais (OEs) de plantas, que vêm ganhando destaque como alternativa promissora para o controle de insetos (Isman, 2020). Nos últimos anos, estudos têm abordado o potencial sinérgico dos óleos essenciais associados a inseticidas convencionais. Em trabalho realizado por Silva *et al.* (2017) foi verificado que a combinação do OE de *Ocimum basilicum* com a deltametrina pode reduzir em 80% a DL₅₀ desse inseticida. Esse mesmo efeito sinérgico foi observado por Fazolin *et al.*, (2016) ao combinar o OE de *Piper aduncum* L. e os inseticidas teflubenzuron/alfacipermetrina. Esses resultados, mostram que a combinação de OE com inseticidas convencionais pode potencializar o efeito inseticida desses compostos, tornando-se uma alternativa promissora, tanto para o controle quanto para o manejo da resistência de *S. frugiperda*.

Dentre os OEs, o de *Lippia sidoides* (Verbanaceae) se destaca como uma alternativa promissora para combinação com inseticidas convencionais, pois alguns estudos já demonstraram seus potenciais biológicos contra uma ampla variedade de organismos, incluindo fungos, bactérias e insetos (Araújo *et al.*, 2020; Melo *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2010; Veras *et al.*, 2013).

Sendo assim, neste trabalho realizamos bioensaios com *S. frugiperda* com o objetivo de: (i) avaliar a resistência desse inseto aos inseticidas clorraniliprole (antranilamida), deltametrina (piretroide) e metomil (carbamato); (ii) testar os efeitos letais de inseticidas convencionais, do OE de *L. sidoides* e do timol (composto majoritário desse OE) e (iii) verificar o efeito sinérgico das misturas binárias do OE de *L. sidoides* e do timol com os inseticidas convencionais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Milho

O milho (*Zea mays* L.) pertence à família Poaceae e tem como centro de origem a América Central, sendo amplamente cultivado em diversos países devido a sua alta adaptabilidade à diferentes climas (Silva *et al.*, 2020) e principalmente pela versatilidade de seu grão, sendo um dos cereais mais utilizado no mundo, seja na alimentação humana, na nutrição animal ou em outros segmentos da indústria (Souza *et al.*, 2020).

No cenário mundial, o Brasil destaca-se como um dos principais produtores de milho. Na safra 2023/2024, a área cultivada no país foi de 21,5 milhões de hectares (CONAB, 2024). Além de ser um dos maiores produtores, o Brasil ocupa, atualmente, a primeira posição de maior exportador mundial de milho, ultrapassando os EUA (FIESP, 2023). A elevada produtividade desse grão no Brasil, é favorecida pelas condições edafoclimáticas que contribuem para seu cultivo em diversas regiões do território, podendo ser cultivado em safras subsequentes, que se dividem em primeira safra e segunda safra “safrinha” (EMBRAPA, 2017). No entanto, apesar do cenário favorecer a produção, as condições climáticas e os cultivos sucessivos contribuem para a incidência de pragas, permitindo a reprodução e manutenção das populações desses insetos (Scoton *et al.*, 2020).

Dentre os problemas fitossanitários que impactam negativamente a produção dessa cultura, destaca-se o ataque de insetos-praga (Barros *et al.*, 2010). Dentre estes, *S. frugiperda* é considerada uma das mais problemáticas, sendo classificada como praga-chave na cultura do milho, devido a sua voracidade alimentar, podendo atacar a planta de milho em qualquer fase fenológica (Gallo *et al.* 2002). No entanto, há uma preferência desse inseto em atacar as folhas novas, quando ainda estão no cartucho, impactando negativamente a produção, devido a redução da área fotossintética e consequente menor enchimento dos grãos (Anjorin *et al.*, 2023).

2.2 *Spodoptera frugiperda*

A lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), é um inseto polígrafo, podendo atacar diversos cultivos agrícolas e cultivos não comerciais, distribuídos em 76 famílias de plantas (Montezano *et al.*, 2018). Essa espécie possui ciclo de desenvolvimento holometábolo, passando pelos estágios de ovo, larva, pupa e adulto, todo o seu ciclo de vida pode durar ~34 dias (Sharma *et al.*, 2022; Sparks, 1979), podendo ser prolongado ou reduzido a depender das condições climáticas. Em sua fase larval, esse inseto possui elevada voracidade alimentar, sendo capaz de consumir diferentes partes da planta, tanto em seu estágio vegetativo, quanto em seu estágio reprodutivo (Cruz e Turpin, 1982).

As larvas recém-eclodidas inicialmente se alimentam do córion (casca do ovo) e, posteriormente, migram para as folhas mais novas, dirigindo-se ao cartucho do milho (Cruz, 1995). É comum encontrar apenas uma lagarta por planta, devido ao seu comportamento canibal (Gallo, 2002). O gênero *Spodoptera* caracteriza-se pela presença de um “Y” invertido na cabeça, enquanto a espécie *S. frugiperda* pode ser identificada pela presença de quatro pontos

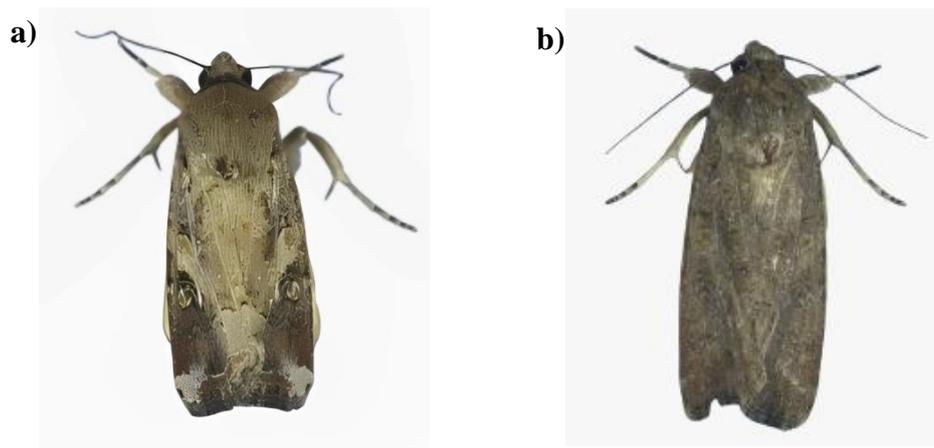
equidistantes no oitavo segmento abdominal, formando um quadrado (Figura 1) (Godfrey, 1987).



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 1. Identificação da lagarta *Spodoptera frugiperda*, evidenciando o “Y” invertido e os quatro pontos equidistantes no oitavo segmento abdominal, formando um quadrado.

Os adultos da *S. frugiperda* apresentam dimorfismo sexual, com características distintas entre machos e fêmeas (Figura 2). As fêmeas apresentam uma coloração mais escura e uniforme nas asas (Figura 2a), enquanto os machos possuem manchas brancas triangulares nas extremidades (Figura 2b) (Zenker; Specht; Corseuil, 2007). Esse inseto possui elevada fecundidade, as fêmeas podem ovipositar de 1.500 a 2.000 ovos em sua fase reprodutiva, com as posturas ocorrendo na parte superior das folhas (Gallo, 2002).



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Figura 2. Macho (a) e fêmea (b) de *Spodoptera frugiperda*.

A alta fecundidade desse inseto, o ciclo de vida curto e a voracidade alimentar aliados a condições ambientais favoráveis, contribuem para que essa praga frequentemente atinja surtos populacionais, provocando sérios danos às culturas e exigindo dos produtores medidas para controlar o ataque (Silva *et al.*, 2024).

Para o manejo de *S. frugiperda* os produtores utilizam basicamente duas tecnologias, sendo os inseticidas organossintéticos e o plantio de variedades geneticamente modificadas, as quais expressam toxinas da bactéria *Bacillus thuringiensis* Berliner 1991 (*Bt*) que possuem ação inseticida (Carrière; Fabrick; Tabashnik, 2016). No entanto, esses métodos têm apresentado falhas no controle, como consequência do uso indiscriminado das moléculas organossintéticas, que tem contribuído para o surto de populações cada vez mais resistentes (Castle *et al.*, 2009). Esse cenário exige do mercado novas estratégias para o controle desse inseto.

Essa problemática tornou-se mais grave com os diversos casos de resistência de populações de *S. frugiperda* a diversos inseticidas tradicionalmente usados para o seu controle, como piretroides (Diez-Rodrigues e Omoto, 2001), organofosforados (Carvalho *et al.*, 2013), e diamidas (Bolzan *et al.*, 2019). Além disso, a contínua exposição da *S. frugiperda* às plantas transgênicas e a falta de áreas de refúgio têm selecionado indivíduos resistentes a determinados eventos de milho *Bt*, como aqueles que expressam as proteínas *CryIF* e *CryIAb* (Farias *et al.*, 2014; Machado *et al.*, 2020). Como consequência das falhas de controle às principais tecnologias de manejo de *S. frugiperda*, há uma crescente pressão no mercado pela descoberta de novas tecnologias, que sejam capazes de controlar essas pragas e de garantir a produtividade das lavouras (Bernardi *et al.*, 2016).

2.3 Resistência

A resistência dos insetos pode ser definida como a capacidade que eles têm em sobreviver após a exposição a um inseticida que normalmente seria letal para populações suscetíveis (Tabashnik *et al.*, 2014). Entre os modos de resistência, encontram-se a comportamental, a fisiológica, a metabólica e no sítio de ação. Na resistência comportamental, o inseto evita ou reduz o contato com o inseticida (Braga *et al.*, 2011), já na resistência fisiológica, acontece a rápida excreção e redução da penetração do inseticida no exoesqueleto, decorrente da redução da permeabilidade cuticular (Gullan *et al.*, 2008). A resistência metabólica pode acontecer através das enzimas monooxigenases dependentes de citocromos P450, da glutathione-S-transferase-leptéideo (GSTs) e esterases (Li *et al.*, 2007). Além disso, os insetos também podem desenvolver resistência ao sítio de ação, tolerando ou diminuindo a sensibilidade aos inseticidas, como mutações no canal de sódio (Dong, 2007; Du *et al.*, 2016;

Endersby *et al.*, 2011), na enzima acetilcolinesterase (Ache) (Lee *et al.*, 2007), ou nos receptores de ácido gama-aminobutírico (GABA) (Ffrench-Constant *et al.* 1993).

O desenvolvimento da resistência de *S. frugiperda* a inseticidas é impulsionado pelo modelo de agricultura intensiva e pela bioecologia dessa praga, como alta fecundidade e múltiplas gerações (Zhang *et al.*, 2021). Segundo o *Arthropod Pesticide Resistance Database*, que é uma base dados online que registra casos de resistência a pesticidas em artrópodes em todo o mundo, demonstrou que a *S. frugiperda* é resistente a mais de 40 ingredientes ativos, incluindo a tecnologia Bt. Dentre os ingredientes ativos, destacam-se os grupos mais importantes, como os piretróides (Zaid *et al.*, 2024; Boaventura *et al.*, 2020), cipermetrina (Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2019), os carbamatos (Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2019, carbaril (Yu *et al.*, 2003), as diamidas (Guo *et al.*, 2024; Okuma *et al.*, 2022) e flubendiamida (Okuma *et al.*, 2022; Posos-Parra *et al.*, 2024).

Como alternativa para a redução de aplicações de inseticidas químicos e controle de pragas foi desenvolvida a tecnologia transgênica que manipula genes da bactéria *Bacillus thuringiensis*, nas plantas para que elas expressem proteínas com ação inseticida (Angelo *et al.*, 2010). Entretanto, a falta de implementação de áreas de refúgio culminou na ocorrência de populações de *S. frugiperda* resistentes a diversas proteínas, como Cry1F, Cry1Ab, Cry1Af, Vip3Aa (Boaventura *et al.*, 2020; Omoto *et al.*, 2016; Farias *et al.*, 2014 e Bernardi *et al.*, 2016), dificultando ainda mais o manejo dessa espécie.

Diante desse contexto, torna-se urgente a busca por novas moléculas ou tecnologias capazes de controlar essas populações de *S. frugiperda* e manejar a sua resistência. Sendo assim, os inseticidas botânicos como os óleos essenciais de plantas são uma alternativa promissora para o controle da *S. frugiperda*, tendo em vista a ação comprovada de diferentes óleos para diferentes pragas (Ayllón-Gutiérrez *et al.*, 2024).

2.4 Óleos essenciais

Assim como os herbívoros, as plantas também desenvolveram mecanismos de defesa para se protegerem contra os ataques de insetos (Pinto-Zevallos *et al.*, 2013). Esses mecanismos incluem mudanças físicas, como alterações na coloração das folhas para confundir os herbívoros (Karban & Baldwin, 1997), mudanças morfológicas como espinhos, tricomas e cutículas espessas (Hanley *et al.*, 2007) e produção de metabólicos secundários que são constituídos por uma mistura de alcalóides, terpenóides e compostos fenólicos (Rehman & Asif Hanif, 2016; Smigielski *et al.*, 2018). Os metabólicos secundários produzidos pelas plantas podem impactar negativamente os insetos, acarretando mudanças fisiológicas,

comportamentais ou mesmo morrerem (Mithöfer & Boland, 2012). Dentre esses metabólicos secundários estão os óleos essenciais.

A International Organization for Standardization (ISO) define os óleos essenciais como produtos oriundos de plantas, os quais passam por processos de separação, sejam eles de destilação (água, vapor ou seco) ou processamento mecânico. Estudos relatam o potencial dos OEs e de seus compostos majoritários no controle de pragas, atuando no sistema nervoso (Oliveira *et al.*, 2018) e digestório (Mordue (Luntz) e Nisbet, 2000). Os óleos essenciais possuem baixa persistência no meio ambiente, rápida degradação e alta seletividade a organismos não-alvo (Isman, 2006; Santos, *et al.*, 2018).

Contudo, seu uso apresenta limitações devido à rápida degradação, à falta de padronização de seus constituintes e às restrições legislativas (Isman, M.B. and Grieneisen, M.L., 2014), além do custo alto e baixo rendimento. Entretanto, uma alternativa para contornar essa situação consiste na combinação de OEs com inseticidas organossintéticos que pode resultar em efeito sinérgico, aditivo ou antagonista (Brito *et al.*, 2021). No efeito sinérgico, a combinação de duas ou mais substâncias produz um efeito maior do que a soma dos efeitos individuais, no antagônico, a combinação de substâncias resulta em um efeito menor do que o esperado com base nos efeitos individuais, já no aditivo, a combinação de substâncias resulta exatamente na soma dos efeitos individuais (Nóbrega, 2013; Saquib *et al.*, 2021). No caso do sinergismo, a mistura pode potencializar a ação de inseticidas convencionais e inibir as enzimas metabólicas detoxificantes (Maisforte *et al.*, 2023).

2.5 *Lippia sidoides*

Nativa do nordeste brasileiro e popularmente conhecida como alecrim-pimenta ou alecrim-do-nordeste, *L. sidoides* (Verbenaceae) é uma planta arbustiva de caule ereto que pode atingir até três metros de altura (Botelho *et al.*, 2007). Suas folhas são simples, pecioladas e possuem odor característico e agradável (Lorenzi *et al.*, 2021). Seu óleo essencial vem sendo muito estudado devido a sua ação inseticida (Lima *et al.*, 2013), acaricida (Gomes *et al.*, 2012), anti-inflamatória, antimicrobiana e antifúngica (Morais *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2020), além de ser utilizado pela indústria farmacêutica (Nunes *et al.*, 2005).

Sua composição química inclui *p*-cinemo, *o*-tepinemo, *o*-cariofileno (Leal *et al.*, 2003), além de carvacrol e timol, sendo este último o composto majoritário Lorenzi *et al.*, 2021). O timol é um monoterpene fenólico presente em plantas da família Lamiaceae, Verbenaceae e Ranunculaceae (Naghdi Badi *et al.*, 2017), com fórmula molecular de C₁₀H₁₄O e peso molecular de 150,22 g mol⁻¹. Em temperatura ambiente, apresenta-se na forma de cristais (Holland *et al.*,

2014). Assim como o OE, o timol, quando isolado, também demonstra ação antifúngica, antimicrobiana e antibacteriana (Lorenzi *et al.*, 2021), além de ter demonstrado bioatividade inseticida, quando testado em *S. frugiperda* (Lima *et al.*, 2020). Em testes *in vitro* feitos por Lindberg *et al.* (2000) demonstraram que o timol apresenta elevada eficiência no controle do ácaro *Varroa jacobsoni* e baixa toxicidade às abelhas, apresentando seletividade a esse organismo não-alvo. Seu mecanismo de ação pode estar ligado à inibição da enzima acetilcolinesterase (Ache) (Jukic *et al.* 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Obtenção dos insetos

Os insetos utilizados nos bioensaios foram obtidos através da criação mantida no Laboratório de Manejo Integrado de Pragas da Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe (SE), (10°54' S, 37°04' W, 7 m de altitude), Brasil, sob condições controladas (25 ± 0,5°C, umidade relativa de 70 ± 10% UR durante um fotoperíodo de 12h).

Os adultos de *S. frugiperda* foram mantidos em recipientes plásticos com 14 cm de diâmetro, 15 cm de altura e capacidade de 2 L (Plaszom Pote 2000 mL Prt1000 St150 C/T C/12X25), cujas paredes internas foram revestidas com papel ofício, servindo como superfície para oviposição. A base de cada recipiente foi substituída por uma placa de Petri de vidro (14 × 1,5 cm) forrada com papel filtro, enquanto a parte superior foi coberta com tecido organza para permitir trocas gasosas. Os adultos foram alimentados com uma solução de açúcar a 10%.

O papel ofício contendo massas de ovos foi substituído a cada três dias e as porções contendo ovos foram recortadas e depositadas em potes plásticos de 500 mL (modelo Pote 500 mL Tr Plaszom C/25 Kit). O método de criação dos insetos foi baseado no protocolo descrito por Lima *et al.*, (2020), com pequenos ajustes. Após a eclosão das larvas, aproximadamente 6 g de dieta artificial, preparada segundo metodologia descrita por Greene *et al.*, (1976), foram adicionadas em cada recipiente.

Ao atingirem o terceiro ínstar as larvas foram individualizadas em recipientes plásticos de 100 mL (Pote 100 mL Branco/Cristalcospos C/100) e alimentadas com dieta, que era substituída a cada três dias. As lagartas permaneciam nesses potes até alcançarem o estágio de pupa, as quais eram transferidas para outros recipientes de 500 mL, revestidos com papel toalha, onde permaneciam até a emergência dos adultos, reiniciando um novo o ciclo biológico.

3.2 Obtenção dos compostos

O OE de *L. sidoides* foi extraído por método destilação a vapor pela empresa PRONAT, Horizonte, Ceará, Brasil. Já o composto majoritário timol foi adquirido da empresa SIGMA-

ALDRICH (Saint Louis, Missouri, EUA). Os inseticidas organossintéticos metomil (Lannate® SL, 215 g i.a/L, CTVA Proteção de Cultivos Ltda – Barueri (Tamboré), clorantianiliprole (Premio® SC, 200 g i.a/L, FMC Química do Brasil Ltda., Campinas, SP) e deltametrina (Decis® 25 EC, 25 g i.a./L, Bayer S.A., São Paulo, SP) foram adquiridos em comércio local.

3.3 Bioensaios

Todos os bioensaios foram realizados no laboratório de Manejo Integrado de Pragas da Universidade Federal de Sergipe (UFS), localizado no departamento de Engenharia Agrônômica, Campus São Cristóvão, SE, em sala climatizada com temperatura de $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ UR e fotoperíodo de 12h.

Os tratamentos consistiram nos inseticidas organossintéticos à base de clorantianiliprole, deltametrina e metomil o OE de *L. sidoides* e seu composto majoritário, o timol. Os inseticidas foram diluídos em água e foi adicionado o espalhante Adesil® (Sumitomo Chemical Indústria Química S/A-Maracanaú, Ceará) e acetona (Panreac, UV-IR-HPLC-GPC PAIACS, 99,9%).

Para a realização dos bioensaios com folhas de milho, utilizou-se a variedade híbrida (Milho AG 1051 Agrocere) (*Z. mays*), adquirida em comércio local. As sementes foram plantadas e, posteriormente, as folhas foram colhidas e utilizadas nos experimentos.

Para determinação da massa dos insetos, foram pesadas, individualmente, 50 lagartas de terceiro ínstar de *S. frugiperda* em uma balança de precisão (Shimadzu, AUW220D). Em seguida, foi calculada a média da massa dessas 50 lagartas, utilizando o valor como peso de referência para os bioensaios seguintes.

3.4 Avaliação da suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* aos inseticidas

Para avaliar a suscetibilidade das lagartas de terceiro ínstar aos diferentes inseticidas, foi utilizada uma torre de Potter (Potter Precision Laboratory Spray Tower – Burkard Scientific), conforme a metodologia de Busato *et al.*, (2002) para simular a pulverização em campo nas doses recomendadas pelo fabricante. A diluição dos inseticidas, foi realizada com água destilada e o espalhante adesivo Adesil, na concentração de 0,02%. O controle consistiu apenas de água e Adesil na mesma concentração.

As lagartas foram expostas aos inseticidas por diferentes vias de exposição, sendo elas: (i) contato direto (CD), (ii) contato residual (CR) + ingestão (In) e (iii) contato direto (CD) + contato residual (CR) + ingestão (In). Na exposição por contato direto (CD), foram separadas 12 placas de Petri ($9 \times 1,5$ cm), cada uma contendo 8 lagartas, totalizando 96 indivíduos. A pulverização foi realizada com 2 mL da solução sob pressão de 15 lb/pol², assegurando uma

deposição de $1,5 \pm 0,5$ mg de calda/cm². Após a pulverização, as lagartas foram alocadas individualmente para poços de placa de cultura celular (Global Trade Technology, Monte Alto, SP, Brasil), contendo 24 orifícios, os quais foram forrados com papel filtro, umedecidos com 25 µL de água destilada, para manutenção da umidade. Em cada poço foi adicionado uma fração de folha de milho de aproximadamente 5 cm² como fonte de alimentação.

Na exposição por 'CR + In', foram pulverizadas lâminas de folha de milho de ~ 5 cm², seguindo as mesmas condições da pulverização anterior 'CD'. Após a secagem, as folhas foram transferidas para placas de cultura celular, alocando-se uma folha por poço, onde foi inserida uma lagarta não tratada para se alimentar do material pulverizado. No total, 96 seções foliares foram preparadas e distribuídas em 12 placas de Petri, contendo 8 folhas cada. Na exposição por 'CD + CR + In', o procedimento foi semelhante, com a diferença de que cada placa de Petri continha simultaneamente 8 lagartas e 8 folhas pulverizadas sob as mesmas condições e quantidades previamente descritas. Após a secagem, folhas e lagartas foram transferidas para placas de cultura celular, alocando-se uma folha e uma lagarta tratada em cada poço. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, composto por 12 repetições, cada uma com oito indivíduos, totalizando 96 lagartas por dose de cada tratamento. As avaliações foram conduzidas 72 horas após a exposição. Considerando-se mortas as lagartas que não respondiam aos estímulos feitos com um pincel.

3.5 Toxicidade

Para a determinação das doses letais, foram conduzidos bioensaios utilizando larvas do terceiro ínstar. De início, foram realizados testes preliminares com doses de 1, 5 e 10 µg das substâncias (inseticidas organossintéticos, OE e timol) por mg de inseto. Em seguida, foram aplicadas doses intermediárias para determinar as curvas de dose-mortalidade, seguindo metodologia de Santos *et al.* (2022).

Foi utilizado acetona com pureza de 99,9% para diluição do OE de *L. sidoides* e do timol, conforme descrito por Lima *et al.* (2020). Os inseticidas sintéticos foram submetidos a uma diluição em série, utilizando como solventes água e acetona. Os tratamentos foram aplicados topicamente (0,5 µL) no tórax de cada inseto, utilizando uma microseringa (Hamilton®, Reno, NV, EUA). Para o controle negativo foi utilizada a acetona, que foi usada como solvente, já que testes preliminares comprovaram que ela não interfere na sobrevivência desses insetos.

Posteriormente, as larvas tratadas foram colocadas em placas de cultura celular com 24 poços, forrados com papel filtro umedecido com 25 µL de água destilada. Em cada poço, junto à lagarta, foi adicionada uma fração de aproximadamente 5 cm² de folha de milho, servindo

como alimento para os insetos. O delineamento experimental foi o mesmo utilizado no teste de suscetibilidade.

As placas contendo as larvas submetidas aos tratamentos foram acondicionadas em uma câmara de incubação do tipo B.O.D. (Biotech®, Piracicaba, SP, Brasil), onde foram mantidas sob condições controladas: temperatura de $25 \pm 0,5$ °C, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 12 horas. A mortalidade foi registrada após 72 horas da montagem do experimento. Larvas que não reagiram ao toque de um pincel foram classificadas como mortas.

3.6 Tempo letal

Para determinar as curvas de sobrevivência e o tempo letal necessário para matar 50% da população (TL_{50}), larvas de terceiro instar foram expostas às DL_{90} previamente estabelecidas nos bioensaios de toxicidade. Os procedimentos foram semelhantes aos adotados no bioensaio de toxicidade, com a diferença de que as larvas foram individualizadas em placas de Petri ($6 \times 1,5$ cm) forradas com papel filtro umedecido com 400 μ L de água destilada. Em cada placa foi inserida uma seção de folha de milho (~ 5 cm²) para as larvas se alimentarem. Para evitar a fuga dos insetos e preservar a umidade, as placas foram cobertas com plástico filme.

Foram realizadas 35 repetições por tratamento ($N = 35$). A mortalidade foi avaliada inicialmente a cada 10 minutos até completar 1 hora do início da aplicação, em seguida, em intervalos de 30 minutos até completar 2 horas. Posteriormente, novas avaliações foram realizadas nos intervalos de 1, 2 e 4 horas, correspondendo aos tempos de 6, 24 e 48 horas após a aplicação. Após esse período, as avaliações passaram a ser realizadas a cada 24 horas, até completar 96 horas.

3.7 Combinações dos inseticidas convencionais com os compostos botânicos

Para verificar a toxicidade aguda dos inseticidas convencionais e dos compostos botânicos isoladamente e em combinação, adotou-se procedimento semelhante ao descrito no bioensaio de toxicidade, inclusive quanto ao delineamento experimental.

Para a determinação das doses das misturas binárias, foram adotados como base o valor da DL_{50} de cada composto, estabelecido no bioensaio de toxicidade. Para isso, foram preparadas soluções usando os valores dos limites inferiores e superiores dos intervalos de confiança das DL_{50} dos inseticidas comerciais e dos compostos botânicos, na proporção de 1:1, conforme Oliveira *et al.* (2017).

Cada composto foi aplicado individualmente para determinar a taxa de mortalidade observada. Em seguida, as combinações dos compostos foram aplicadas para estimar a mortalidade esperada das misturas, permitindo a comparação entre os tratamentos. A relação entre a mortalidade observada e a esperada foi analisada para caracterizar os efeitos das

combinações, classificando-os como aditivos, sinérgicos ou antagônicos, conforme metodologia descrita por Oliveira *et al.* (2017).

3.8 Análises estatísticas

Os dados de mortalidade obtidos no experimento de toxicidade foram submetidos à análise de Probit para a determinação das curvas de dose-resposta para cada tratamento, utilizando o procedimento PROC PROBIT do SAS (SAS Institute, 2008). A partir dessas curvas, foram obtidas as doses letais necessárias para ocasionar 30, 50 e 90% de mortalidade (DL₃₀, DL₅₀ e DL₉₀), com seus respectivos limites de confiança a 95% de probabilidade (LC_{95%}). As DLs foram comparadas pelo critério de não sobreposição dos limites de confiança com a origem.

As análises de sobrevivência foram realizadas utilizando os estimadores de Kaplan-Meier a partir do teste de Log-Rank (SigmaPlot, versão 14.0). Por meio dessa análise, foram obtidas as curvas de sobrevivência. As curvas foram comparadas pelo método de comparações múltiplas de Holm-Sidak a 5% de probabilidade.

Nos bioensaios de misturas binárias, as mortalidades esperadas foram calculadas segundo a fórmula descrita por Hummelbrunner e Isman (2001): $E = Oa + Ob(1 - Oa)$, onde: E é a mortalidade esperada e Oa e Ob são mortalidades observadas dos compostos puros. Os efeitos das misturas binárias foram classificados por meio de comparações entre o χ^2 calculado e o χ^2 tabelado ($\chi^2_{\text{tab}} = 3,84$; g.l. = 1; $\alpha = 0,05$). O χ^2 foi calculado da seguinte forma: $\chi^2 = (Om - E)^2 / E$, onde: Om é a mortalidade observada da mistura binária. Se o valor de χ^2 calculado for menor que 3,84, o efeito é considerado aditivo (ou sem efeito). Se o valor de χ^2 calculado for maior que 3,84, o efeito é classificado como sinérgico ou antagônico. Neste último caso, as mortalidades esperadas e observadas das misturas binárias foram comparadas para determinar a natureza do efeito.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Suscetibilidade da *Spodoptera frugiperda* aos inseticidas

A partir dos resultados obtidos no bioensaio de suscetibilidade realizado com a torre de Potter, foi observada uma variação significativa na eficácia de controle entre os três inseticidas convencionais testados (clorantraniliprole, deltametrina e metomil) após 72 horas de exposição das larvas às diferentes vias de aplicação: 'CD', 'CR + In' e 'CD + CR + In' (Figura 3). O metomil apresentou 100% de mortalidade nas vias de exposição por 'CD' e na exposição combinada 'CD + CR + In'. Já na via 'CR + In', a mortalidade alcançou 93,8±1,9% (Figura 3). Em contrapartida, o clorantraniliprole e a deltametrina registraram mortalidades inferiores a

80% em todas as vias de exposição, com médias de $28,5 \pm 3,4\%$ e $14,6 \pm 2,4\%$, respectivamente, considerando as três vias avaliadas (Figura 3).

A alta mortalidade observada na exposição ao metomil, indica que a população de *S. frugiperda* utilizada nesse bioensaio é suscetível a esse inseticida, ou seja, ela ainda não apresenta padrões de resistência. Por outro lado, foi observada baixa mortalidade das larvas de lagarta-do-cartucho expostas ao clorantraniliprole e a deltametrina, indicando que a população utilizada nos testes já apresenta padrões de resistência para esses inseticidas. A elevada taxa de sobrevivência das larvas expostas ao clorantraniliprole pode estar associada a alterações em receptores rianodínicos, frequentemente observados em populações de *S. frugiperda* expostas à diamidas (Lv *et al.*, 2021). Já a baixa mortalidade observada para a deltametrina pode ser explicada pela presença de mutações em genes codificadores dos canais de sódio voltagem-dependentes, os principais alvos desse inseticida (Carvalho *et al.*, 2013; Guan *et al.*, 2021).

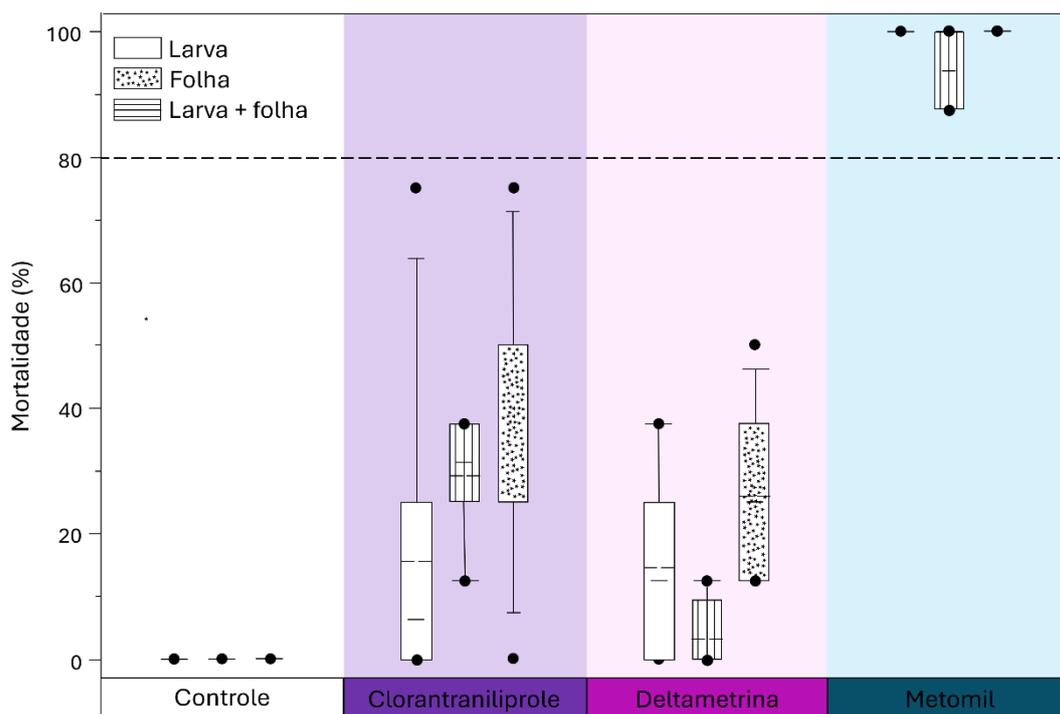


Figura 3: Mortalidade de larvas de terceiro ínstar de *Spodoptera frugiperda* após 72 horas de exposição às doses recomendadas dos inseticidas clorantraniliprole, deltametrina e metomil aplicados com torre de Potter em larvas (exposição por contato direto), em folhas de milho (exposição por contato residual + ingestão) e em larvas e folhas de milho (exposição por contato direto + contato residual + ingestão). as linhas tracejadas e contínuas dentro dos boxplots representam a média e a mediana, respectivamente. As extremidades da caixa representam os percentis 25 e 75, as linhas do erro correspondem aos percentis 10 e 90 e os círculos representam os percentis 5 e 95. A linha tracejada representa o limiar mínimo de eficiência exigido para o inseticida, segundo os critérios de registro de inseticidas pelo ministério da agricultura, pecuária e abastecimento do Brasil (MAPA).

4.2 Toxicidade

No bioensaio de toxicidade foi observado que tanto os inseticidas convencionais (clorraniliprole e deltametrina) quanto os compostos botânicos (óleo essencial de *L. sidoides* e timol) apresentaram toxicidade contra larvas de terceiro ínstar de *S. frugiperda* (Tabela 1). As doses letais necessárias para causar 50% de mortalidade na população (DL₅₀) foram de 0,00839 µg/mg para a deltametrina, 0,0728 µg/mg para o clorraniliprole, 2,690 µg/mg para o óleo essencial e 4,486 µg/mg para o timol (Tabela 1).

Entre os compostos botânicos, o OE de *L. sidoides* se destacou por apresentar maior toxicidade em comparação ao seu constituinte majoritário, o timol (Tabela 1). A toxicidade do óleo essencial é associada, em grande parte, à presença do timol, cuja ação pode ter sido intensificada por componentes minoritários que atuam como agentes sinérgicos (Hummelbrunner e Isman, 2001; Nerio, Olivero-Verbel e Stashenko, 2010).

Em relação ao timol, a sua toxicidade pode estar relacionada à sua capacidade de inibir as enzimas do complexo P450, responsáveis pelo metabolismo e detoxificação de xenobióticos nos insetos (Gaire *et al.*, 2021). Em um estudo com *Spodoptera litura*, Ruttanaphan e Bullangpoti (2022) observaram que o timol reduziu a atividade dessas enzimas, um mecanismo que possivelmente também ocorre em *S. frugiperda*.

Tabela 1: Toxicidade por aplicação tópica do inseticida clorantraniliprole, deltametrina, do óleo essencial de *Lippia sidoides* (OE) e timol sobre larvas de terceiro ínstar de *Spodoptera frugiperda*, após 72 h de exposição.

Tratamento	N^a	DL ₃₀ (IC 95%) ($\mu\text{g}/\text{mg}$)	DL ₅₀ (IC 95%) ($\mu\text{g}/\text{mg}$)	DL ₉₀ (IC 95%) ($\mu\text{g}/\text{mg}$)	β^b	x^2	P
Clorantraniliprole	576	0,0154 (0,00994-0,0226)	0,0728 (0,05069-0,1066)	3,213 (1,6602-7,687)	0,77±0,19	1,07	0,89
Deltametrina	384	0,00127 (0,000491-0,00248)	0,00839 (0,0046-0,0138)	0,855 (0,378-2,824)	0,63±0,07	4,49	0,10
Óleo essencial de <i>L. sidoides</i> (OE)	480	1,495 (1,218-1,778)	2,689 (2,293-3,132)	11,304 (9,138-14,722)	3,69±0,34	3,08	0,21
Timol	384	3,236 (2,787-3,631)	4,486 (4,0417-4,918)	9,963 (8,776-11,794)	2,05±0,14	4,13	0,24

^a = número de insetos. ^b = inclinação da curva. ± erro padrão.

4.3 Sobrevivência e tempo letal

O bioensaio de tempo letal (TL_{50}) revelou que a deltametrina foi o composto com o menor tempo letal, provocando a morte das larvas de forma mais rápida (Figura 4). Esse resultado está alinhado com estudos que destacam a ação rápida dos piretróides devido à sua ação no sistema nervoso central dos insetos (Soderlund, 2010). Por outro lado, o clorantraniliprole apresentou TL_{50} maior, sugerindo que sua eficácia depende de um período de exposição mais longo para induzir a mortalidade dos insetos. Nesse bioensaio, foi observado que, ao serem expostas a esse inseticida, as larvas diminuíam sua movimentação, o que sugere a ação desse composto nos receptores rianodínicos. Muito provavelmente, a paralisia muscular dos insetos impediu a sua alimentação, o que justifica a sua mortalidade mais lenta (Teixeira & Andaloro, 2013).

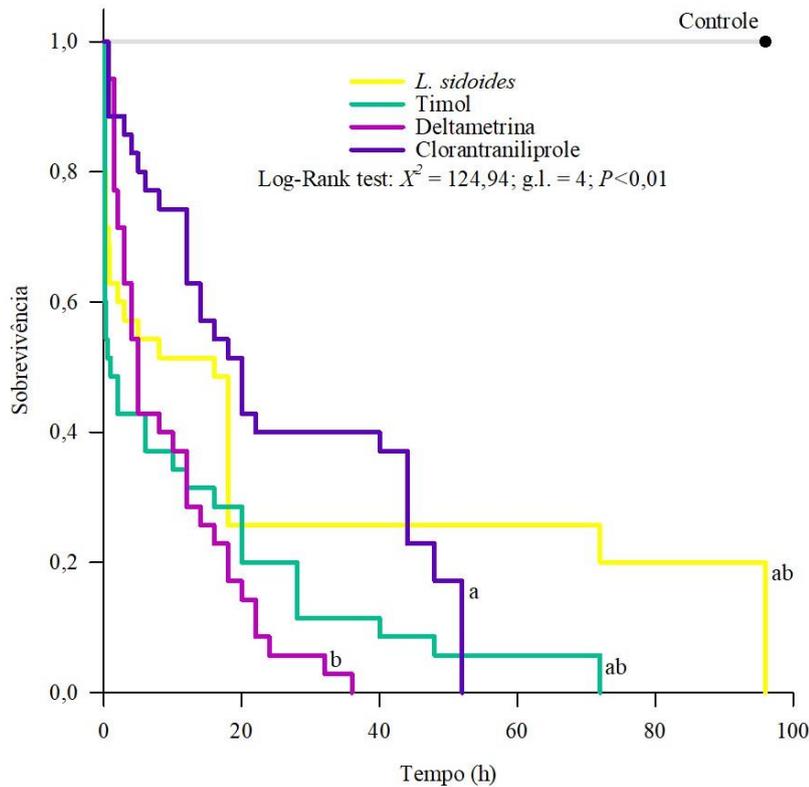


Figura 4: Curvas de sobrevivência e tempo letal (TL_{50}) (média \pm IC_{95%}) de larvas de terceiro ínstar de *Spodoptera frugiperda* após 72 horas de exposição às DL_{90} dos inseticidas convencionais clorantraniliprole e deltametrina e dos inseticidas botânicos óleo essencial de *Lippia sidoides* e timol aplicados topicamente com o auxílio de uma microseringa. TL_{50} = tempo letal necessário para matar 50% da população. Curvas de sobrevivência seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo método de Holm-Sidak.

4.4 Combinações dos inseticidas convencionais com os compostos botânicos

A interação entre os inseticidas sintéticos e botânicos foi analisada com base nos valores dos limites superiores e inferiores do intervalo de confiança da DL₅₀, determinados no bioensaio de toxicidade (Tabela 1). Quando os limites inferiores foram combinados, observou-se um efeito sinérgico nas misturas do OE com clorantraniliprole e do OE com deltametrina, já que os valores de χ^2 calculados foram maiores aos χ^2 tabelados (Figura 5a).

Um efeito semelhante foi verificado ao combinar os limites superiores da DL₅₀ do OE com os inseticidas clorantraniliprole e deltametrina (Figura 5b). Em contrapartida, as misturas envolvendo o clorantraniliprole com timol e deltametrina com timol apresentaram valores de χ^2 calculados inferiores ao χ^2 tabelado, tanto na mistura dos limites superiores quanto na dos limites inferiores, indicando um efeito aditivo (Figura 5a e 5b).

A avaliação das combinações entre os inseticidas botânicos e convencionais demonstrou que a mistura do OE com clorantraniliprole e de OE com deltametrina, utilizando os limites superiores e inferiores dos intervalos de confiança das DL₅₀ desses compostos, apresentou efeito sinérgico. Por outro lado, a combinação do timol com esses inseticidas apresentou um efeito aditivo. A sinergia observada nas combinações com o OE pode ser explicada pela diversidade de seus componentes, pois mesmo em concentrações menores, os compostos secundários podem interagir entre si, modulando a atividade biológica do OE (Akhtar *et al.*, 2012; Jiang *et al.*, 2009), além de influenciar sua interação com os inseticidas sintéticos (Fazolin *et al.*, 2024).

O efeito sinérgico observado na combinação do OE de *L. sidoides* com clorantraniliprole e do OE com deltametrina pode ter ocorrido devido a interação das moléculas sintéticas com as moléculas inseticidas, que podem ter potencializado a ação neurotóxica desses compostos, possivelmente por atuar no sistema nervoso dos insetos que é o local alvo desses compostos (Jankowska *et al.*, 2017). Por outro lado, o efeito aditivo observado nas combinações com o timol sugere que a ausência de constituintes minoritários pode ter limitado o seu potencial tóxico.

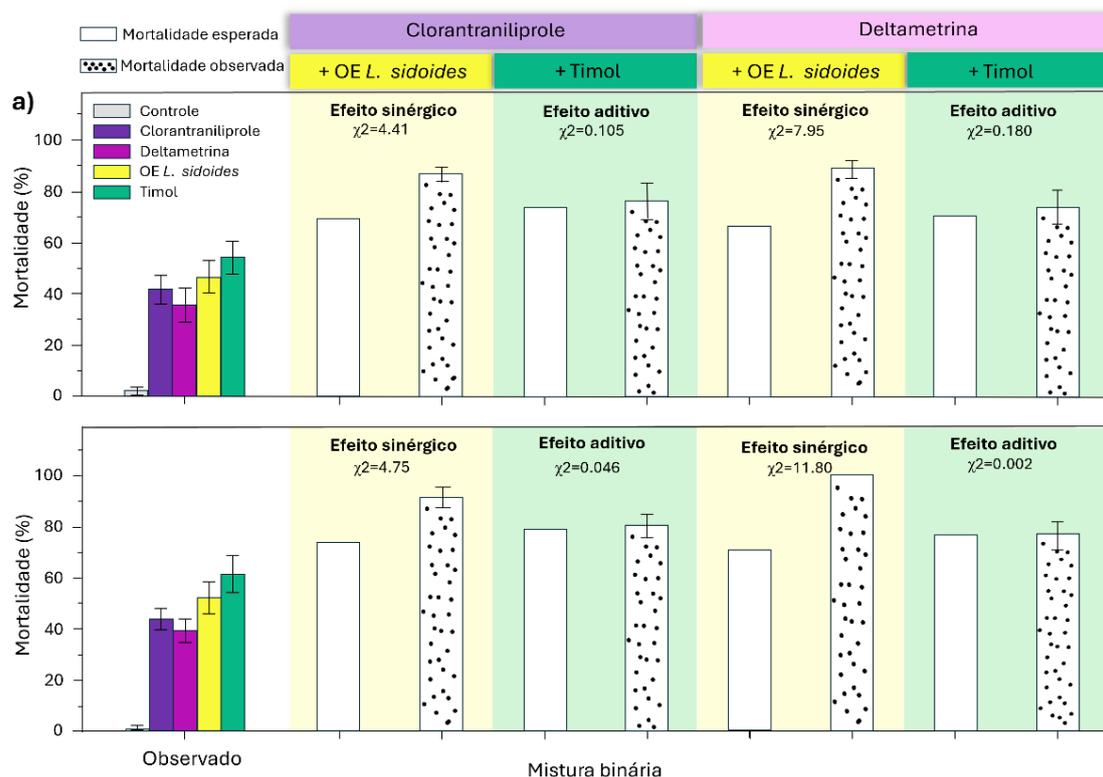


Figura 5: Mortalidade observada de larvas de terceiro ínstar de *Spodoptera frugiperda* após 72 h de exposição tópica aos inseticidas convencionais (clorantraniliprole e deltametrina) e aos inseticidas botânicos (óleo essencial de *Lippia sidoides* e timol) e mortalidades esperadas e observadas de suas misturas binárias nas doses correspondentes ao limite inferior (a) e superior (b) do intervalo de confiança da DL₅₀ de cada inseticida determinadas nos bioensaios de toxicidade. Clorantraniliprole (IC_{95%} = 0,050-0,107 µg/mg), deltametrina (IC_{95%} = 0,0046-0,0139 µg/mg), óleo essencial de *Lippia sidoides* (IC_{95%} = 2,29-3,13 µg/mg) e timol (IC_{95%} = 4,04-4,92 µg/mg). χ^2 tabelado = 3,84. χ^2 calculado > tabelado = sinergismo, χ^2 calculado < tabelado = aditismo.

5. CONCLUSÃO

Esta pesquisa evidenciou a resistência de *S. frugiperda* aos inseticidas clorantraniliprole e deltametrina, enquanto o metomil apresentou alta eficácia. O óleo essencial (OE) de *L. sidoides* mostrou maior toxicidade em comparação com seu composto majoritário, o timol, sugerindo uma interação sinérgica entre seus componentes. Adicionalmente, as combinações do OE com clorantraniliprole e deltametrina revelaram efeito sinérgico, destacando seu potencial para o manejo da resistência em *S. frugiperda*.

A partir desses resultados, o uso do OE surge como uma estratégia promissora para o manejo integrado de pragas. Estudos futuros devem investigar a estabilidade e persistência desses compostos em condições de campo, sua compatibilidade com outras técnicas de controle e seus efeitos sobre organismos não alvo. Além disso, pesquisas sobre os mecanismos de sinergia com inseticidas convencionais podem contribuir para o desenvolvimento de formulações mais eficientes e sustentáveis no controle de *S. frugiperda*.

6. REFERÊNCIAS

- AKHTAR, Y.; PAGES, E.; STEVENS, A.; BRADBURY, R.; CAMARA, C. A. G. DA; ISMAN, M. B. Effect of chemical complexity of essential oils on feeding deterrence in larvae of the cabbage looper. **Physiological Entomology**, v. 37, n. 1, p. 81–91, 23 mar. 2012.
- ANGELO, E. A.; VILAS-BÔAS, G. T.; CASTRO-GÓMEZ, R. J. H. Bacillus thuringiensis: características gerais e fermentação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 945, 20 dez. 2010.
- ANJORIN, F. B.; ODEYEMI, O. O.; AKINBODE, O. A.; KAREEM, K. T. Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) infestation: maize yield depression and physiological basis of tolerance. **Journal of Plant Protection Research**, 6 nov. 2023.
- ARAÚJO, M. J. C. DE; CAMARA, C. A. G. DA; MORAES, M. M. DE; BORN, F. S. Insecticidal properties and chemical composition of *Piper aduncum* L., *Lippia sidoides* Cham. and *Schinus terebinthifolius* Raddi essential oils against *Plutella xylostella* L. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. suppl 1, 2020.
- AYLLÓN-GUTIÉRREZ, R.; DÍAZ-RUBIO, L.; MONTAÑO-SOTO, M.; HARO-VÁZQUEZ, M. DEL P.; CÓRDOVA-GUERRERO, I. Applications of Plant Essential Oils in Pest Control and Their Encapsulation for Controlled Release: A Review. **Agriculture**, v. 14, n. 10, p. 1766, 6 out. 2024.
- BABENDREIER, D.; TOEPFER, S.; BATEMAN, M.; KENIS, M. Potential Management Options for the Invasive Moth *Spodoptera frugiperda* in Europe. **Journal of Economic Entomology**, v. 115, n. 6, p. 1772–1782, 14 dez. 2022.
- BARROS, E. M.; TORRES, J. B.; RUBERSON, J. R.; OLIVEIRA, M. D. Development of *Spodoptera frugiperda* on different hosts and damage to reproductive structures in cotton. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 137, n. 3, p. 237–245, 11 dez. 2010.
- BERNARDI, O.; BERNARDI, D.; HORIKOSHI, R. J.; OMOTO, C. **Manejo da resistência de insetos a plantas Bt**. Engenheiro Coelho, SP, Brasil. v. 1, out. 2016. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/315523688>>.
- BOAVENTURA, D. *et al.* Molecular characterization of Cry1F resistance in fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* from Brazil. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 116, p. 103280, jan. 2020.
- BOLZAN, A.; PADOVEZ, F. E.; NASCIMENTO, A. R.; KAISER, I. S.; LIRA, E. C.; AMARAL, F. S.; KANNO, R. H.; MALAQUIAS, J. B.; OMOTO, C. Selection and characterization of the inheritance of resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to chlorantraniliprole and cross-resistance to other diamide insecticides. **Pest Management Science**, v. 75, n. 10, p. 2682–2689, 25 out. 2019.
- BOTELHO, M. A.; NOGUEIRA, N. A. P.; BASTOS, G. M.; FONSECA, S. G. C.; LEMOS, T. L. G.; MATOS, F. J. A.; MONTENEGRO, D.; HEUKELBACH, J.; RAO, V. S.; BRITO, G. A. C. Antimicrobial activity of the essential oil from *Lippia sidoides*, carvacrol and thymol against oral pathogens. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 40, n. 3, p. 349–356, mar. 2007.

- BRAGA, L. S.; CORRÊA, A. S.; PEREIRA, E. J. G.; GUEDES, R. N. C. Face or flee? Fenitrothion resistance and behavioral response in populations of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 47, n. 3, p. 161–167, jul. 2011.
- BRITO, V. D.; ACHIMÓN, F.; PIZZOLITTO, R. P.; RAMÍREZ SÁNCHEZ, A.; GÓMEZ TORRES, E. A.; ZYGADLO, J. A.; ZUNINO, M. P. An alternative to reduce the use of the synthetic insecticide against the maize weevil *Sitophilus zeamais* through the synergistic action of *Pimenta racemosa* and *Citrus sinensis* essential oils with chlorpyrifos. **Journal of Pest Science**, v. 94, p. 409-421, 2021.
- BURTET, L. M.; BERNARDI, O.; MELO, A. A.; PES, M. P.; STRAHL, T. T.; GUEDES, J. V. Managing fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), with Bt maize and insecticides in southern Brazil. **Pest Management Science**, v. 73, n. 12, p. 2569–2577, 12 dez. 2017.
- BUSATO, G. R.; GRUTZMACHER, A. D.; GARCIA, M. S.; GIOLO, F. P.; MARTINS, A. F. Consumo e utilização de alimento por *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) originária de diferentes regiões do Rio Grande do Sul, das culturas do milho e do arroz Irrigado. **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 4, p. 525–529, out. 2002.
- CARVALHO, R. A.; OMOTO, C.; FIELD, L. M.; WILLIAMSON, M. S.; BASS, C. Investigating the molecular mechanisms of organophosphate and pyrethroid resistance in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. **PLoS ONE**, v. 8, n. 4, p. e62268, 17 abr. 2013.
- CARRIÈRE, Y.; FABRICK, J. A.; TABASHNIK, B. E. Can Pyramids and Seed Mixtures Delay Resistance to Bt Crops? **Trends in Biotechnology**, v. 34, n. 4, p. 291–302, abr. 2016. DOI: 10.1016/j.tibtech.2015.12.011
- CASTLE, S. J.; PALUMBO, J. C.; PRABHAKER, N.; HOROWITZ, A. R.; DENHOLM, I. Ecological determinants of *Bemisia tabaci* resistance to insecticides. *Em: Bemisia: Bionomics and Management of a Global Pest*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2009. p. 423–465.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos Safra 2023/24 5º Levantamento**: Companhia Nacional de Abastecimento. 2024. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5478-safra-de-graos-2023-2024-esta-estimada-em-294-1-milhoes-de-toneladas>>. Acesso em: 31 jan. 2025.
- CRUZ, I. **A lagarta-do-cartucho na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS: Embrapa--CNPMS. Circular técnica,21, 1995.
- CRUZ, I.; TURPIN, F. T. Efeito da *Spodoptera frugiperda* em diferentes estádios de crescimento da cultura de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.17, n.3, p.355-360, 1982.
- DAY, R. *et al.* Fall Armyworm: Impacts and Implications for Africa. **Outlooks on Pest Management**, v. 28, n. 5, p. 196–201, 1 out. 2017.
- DIEZ-RODRIGUES, G. L.; OMOTO, CELSO. Herança da resistência de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambda-cialotrina. **Neotropical Entomology**, v. 30, n. 2, p. 311–316, jun. 2001.

DONG, K. Insect sodium channels and insecticide resistance. **Invertebrate Neuroscience**, v. 7, n. 1, p. 17–30, 20 fev. 2007.

DU, Y.; NOMURA, Y.; ZHOROV, B.; DONG, K. Sodium Channel Mutations and Pyrethroid Resistance in *Aedes aegypti*. **Insects**, v. 7, n. 4, p. 60, 31 out. 2016.

EGHRARI, K.; HUMBERTO DE BRITO, A.; BALDASSI, A.; BALBUENA, T. S.; FERNANDES, O. A.; MÔRO, G. V. Homozygosity of Bt locus increases Bt protein expression and the control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in maize hybrids. **Crop Protection**, v. 124, p. 104871, out. 2019.

ENDERSBY, N. M.; VIDUKA, K.; BAXTER, S. W.; SAW, J.; HECKEL, D. G.; MCKECHNIE, S. W. Widespread pyrethroid resistance in Australian diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), is related to multiple mutations in the *para* sodium channel gene. **Bulletin of Entomological Research**, v. 101, n. 4, p. 393–405, 23 ago. 2011.

FARIAS, J. R.; HORIKOSHI, R. J.; SANTOS, A. C.; OMOTO, C. Geographical and temporal variability in susceptibility to *CryIF* toxin from *Bacillus thuringiensis* in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) populations in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, v. 107, n. 6, p. 2182–2189, 1 dez. 2014.

FAZOLIN, M.; ESTRELA, J. L. V.; MEDEIROS, A. F. M.; SILVA, I. M. DA; GOMES, L. P.; SILVA, M. S. DE F. Synergistic potential of dillapiole-rich essential oil with synthetic pyrethroid insecticides against fall armyworm. **Ciência Rural**, v. 46, n. 3, p. 382–388, mar. 2016.

FAZOLIN, M.; FABIO MEDEIROS MONTEIRO, A.; RIBEIRO BIZZO, H.; SILVA MAISFORTE, N. DA; ÉRICA COSTA DE LIMA, M.; ERVATTI GAMA, P. **Infoteca-e: Formulação da fração terpênica do óleo de *Piper aduncum* L. como sinergista de inseticidas químicos**. Rio Branco, AC. 2024. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1167788>>. Acesso em: 27 jan. 2025.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). Safra Mundial de Milho 2023/24 - 1º **Levantamento do USDA**, Informativo Maio de 2023. Disponível em <<file-20230601192420-boletimmihomaio2023>>. Acesso: em 12 mar. de 2024.

FFRENCH-CONSTANT, R. H.; STEICHEN, J. C.; ROCHELEAU, T. A.; ARONSTEIN, K.; ROUSH, R. T. A single-amino acid substitution in a gamma-aminobutyric acid subtype A receptor locus is associated with cyclodiene insecticide resistance in *Drosophila* populations. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 90, n. 5, p. 1957–1961, mar. 1993.

GAIRE, S.; ZHENG, W.; SCHARF, M. E.; GONDHALEKAR, A. D. Plant essential oil constituents enhance deltamethrin toxicity in a resistant population of bed bugs (*Cimex lectularius* L.) by inhibiting cytochrome P450 enzymes. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 175, p. 104829, jun. 2021.

GALLO, D., O. NAKANO, S. SILVEIRA-NETO, R. P. L. CARVALHO, G. C. BATISTA, E. BERTI FILHO, J. R. P. PARRA, R. A. ZUCCHI, S. B. ALVES, J. D. VENDRAMIM, L. C. MARCHINI, J. R. S. LOPES & C. OMOTO. **Entomologia agrícola**. Fealq, Piracicaba 920 2002.

GODFREY, G. L. Noctuidae (Noctuoidea). In F. W. Stehr (Ed.), *Immature Insects*. Dubuque, Iowa: Kendal/Hunt Publishing Company. 1987.

GOMES, G. A.; MONTEIRO, C. M. DE O.; SENRA, T. DE O. S.; ZERINGOTA, V.; CALMON, F.; MATOS, R. DA S.; DAEMON, E.; GOIS, R. W. DA S.; SANTIAGO, G. M. P.; CARVALHO, M. G. DE. Chemical composition and acaricidal activity of essential oil from *Lippia sidoides* on larvae of *Dermacentor nitens* (Acari: Ixodidae) and larvae and engorged females of *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). **Parasitology Research**, v. 111, n. 6, p. 2423–2430, 16 dez. 2012.

GREENE, G. L.; LEPPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean Caterpillar: A Rearing Procedure and Artificial Medium. **Journal of Economic Entomology**, v. 69, n. 4, p. 487–488, 1 ago. 1976.

GUAN, F. *et al.* Whole-genome sequencing to detect mutations associated with resistance to insecticides and Bt proteins in *Spodoptera frugiperda*. **Insect Science**, v. 28, n. 3, p. 627–638, 4 jun. 2021.

GULLAN, P. J.; CRANSTON, P. S. **Os Insetos: um resumo de entomologia**. 3. ed. São Paulo: Roca, 2008.

GUO, Z.; MA, H.; TANG, J.; WU, M.; HE, S.; WAN, H.; LI, J.; MA, K. Chlorantraniliprole Resistance in *Spodoptera frugiperda*: Resistance Monitoring, Resistance Risk, and Resistance Mechanisms. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 72, n. 30, p. 16651–16660, 31 jul. 2024.

GUTIÉRREZ-MORENO, R.; MOTA-SANCHEZ, D.; BLANCO, C. A.; WHALON, M. E.; TERÁN-SANTOFIMIO, H.; RODRIGUEZ-MACIEL, J. C.; DIFONZO, C. Field-Evolved Resistance of the Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to Synthetic Insecticides in Puerto Rico and Mexico. **Journal of Economic Entomology**, v. 112, n. 2, p. 792–802, 21 mar. 2019.

HANLEY, M. E.; LAMONT, B. B.; FAIRBANKS, M. M.; RAFFERTY, C. M. Plant structural traits and their role in anti-herbivore defence. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 8, n. 4, p. 157–178, jul. 2007.

HARDKE, J. T.; LORENZ, G. M.; LEONARD, B. R. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) ecology in southeastern cotton. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 6, n. 1, p. 10–10, 1 jun. 2015.

HOLLAND, R. D.; WILKES, J. G.; COOPER, W. M.; ALUSTA, P.; WILLIAMS, A.; PEARCE, B.; BEAUDOIN, M.; BUZATU, D. Thymol treatment of bacteria prior to matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometric analysis aids in identifying certain bacteria at the subspecies level. **Rapid Communications in Mass Spectrometry**, v. 28, n. 23, p. 2617–2626, 15 dez. 2014.

HUMMELBRUNNER, L. A.; ISMAN, M. B. Acute, sublethal, antifeedant, and synergistic effects of monoterpenoid essential oil compounds on the tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Lep., Noctuidae). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 2, p. 715–720, 2001.

International Organization for Standardization.; ISO 3218:2014. Essential oils - Principles of nomenclature; International Organization for Standardization: Genebra, 2014. Disponível em: <<https://www.iso.org/home.html>>. Acesso em janeiro de 2025.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides in the twenty-first century—fulfilling their promise? **Annual Review of Entomology**, v. 65, n. 1, p. 233–249, 7 jan. 2020.

ISMAN, M. B. BOTANICAL INSECTICIDES, DETERRENTS, AND REPELLENTS IN MODERN AGRICULTURE AND AN INCREASINGLY REGULATED WORLD. **Annual Review of Entomology**, v. 51, n. 1, p. 45–66, 1 jan. 2006.

ISMAN, M. B.; GRIENEISEN, M. L. Botanical insecticide research: many publications, limited useful data. **Trends in Plant Science**, v. 19, n. 3, p. 140–145, mar. 2014.

JANKOWSKA, M.; ROGALSKA, J.; WYSZKOWSKA, J.; STANKIEWICZ, M. Molecular Targets for Components of Essential Oils in the Insect Nervous System—A Review. **Molecules**, v. 23, n. 1, p. 34, 23 dez. 2017.

JIANG, Z.; AKHTAR, Y.; BRADBURY, R.; ZHANG, X.; ISMAN, M. B. Comparative toxicity of essential oils of *litsea pungens* and *litsea cubeba* and blends of their major constituents against the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 11, p. 4833–4837, 10 jun. 2009.

JUKIC, M.; POLITEO, O.; MAKSIMOVIC, M.; MILOS, MIA; MILOS, MLADEN. *In Vitro* acetylcholinesterase inhibitory properties of thymol, carvacrol and their derivatives thymoquinone and thymohydroquinone. **Phytotherapy Research**, v. 21, n. 3, p. 259–261, 2 mar. 2007.

KARBAN, R.; BALDWIN, I. T. **Induced Responses to Herbivory**. Chigaco: University of Chicago, 1997.

LEAL, L. K. A. M.; OLIVEIRA, V. M.; ARARUNA, S. M.; MIRANDA, M. C. C.; OLIVEIRA, F. M. A. Análise de timol por CLAE na tintura de *Lippia sidoides* Cham. (alecrim-pimenta) produzida em diferentes estágios de desenvolvimento da planta. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 13, p. 9–11, 2003.

LEE, D.-W.; CHOI, J. Y.; KIM, W. T.; JE, Y. H.; SONG, J. T.; CHUNG, B. K.; BOO, K. S.; KOH, Y. H. Mutations of acetylcholinesterase1 contribute to prothiofos-resistance in *Plutella xylostella* (L.). **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 353, n. 3, p. 591–597, fev. 2007.

LI, X.; SCHULER, M. A.; BERENBAUM, M. R. Molecular Mechanisms of Metabolic Resistance to Synthetic and Natural Xenobiotics. **Annual Review of Entomology**, v. 52, n. 1, p. 231–253, 1 jan. 2007.

LIMA, A. P. S.; SANTANA, E. D. R.; SANTOS, A. C. C.; SILVA, J. E.; RIBEIRO, G. T.; PINHEIRO, A. M.; SANTOS, Í. T. B. F.; BLANK, A. F.; ARAÚJO, A. P. A.; BACCI, L. Insecticide activity of botanical compounds against *Spodoptera frugiperda* and selectivity to the predatory bug *Podisus nigrispinus*. **Crop Protection**, v. 136, p. 105230, out. 2020.

LIMA, J. K. A.; ALBUQUERQUE, E. L. D.; SANTOS, A. C. C.; OLIVEIRA, A. P.; ARAÚJO, A. P. A.; BLANK, A. F.; ARRIGONI-BLANK, M. DE F.; ALVES, P. B.;

- SANTOS, D. DE A.; BACCI, L. Biototoxicity of some plant essential oils against the termite *Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae). **Industrial Crops and Products**, v. 47, p. 246–251, maio 2013.
- LINDBERG, C. M.; MELATHOPOULOS, A. P.; WINSTON, M. L. Laboratory Evaluation of Miticides to Control *Varroa jacobsoni* (Acari: Varroidae), a Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Parasite. **Journal of Economic Entomology**, v. 93, n. 2, p. 189–198, 1 abr. 2000.
- LORENZI, H.; MATOS, F. J. DE A.; CAVALLEIRO, A. DE S.; BROCHINI, V. F. G.; SOUZA, V. C. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa: Jardim Botânico Plantarum, 2021.
- LV, S.; SHI, Y.; ZHANG, J.; LIANG, P.; ZHANG, L.; GAO, X. Detection of ryanodine receptor target-site mutations in diamide insecticide-resistant *Spodoptera frugiperda* in China. **Insect Science**, v. 28, n. 3, p. 639–648, jun. 2021.
- MACHADO, E. P.; S. RODRIGUES JUNIOR, G. L. DOS; FÜHR, F. M.; ZAGO, S. L.; MARQUES, L. H.; SANTOS, A. C.; NOWATZKI, T.; DAHMER, M. L.; OMOTO, C.; BERNARDI, O. Cross-crop resistance of *Spodoptera frugiperda* selected on Bt maize to genetically-modified soybean expressing *CryIAc* and *CryIF* proteins in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 10080, 22 jun. 2020.
- MAISFORTE, N. DA S.; FAZOLIN, M.; LIMA, M. É. C. DE; MONTEIRO, A. F. M. Aumento do Desempenho Sinérgico do Óleo Essencial de *Piper aduncum* L. pelo Enriquecimento de suas Frações Terpênicas-Piretroide Sintético. **Seminário da Embrapa Acre de iniciação científica e pós-graduação**, 5., 2022, Rio Branco, AC.
- O papel da tecnologia agrícola na segurança alimentar: anais. Rio Branco, AC: **Embrapa Acre**, 2023. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1157454>>. Acesso em: 12 mar. de 2024.
- MELO, J. O. DE; BLANK, A. F.; NUNES, R. DE S.; ALVES, P. B.; ARRIGONI-BLANK, M. DE F.; GAGLIARDI, P. R.; NASCIMENTO-JÚNIOR, A. F. DO; SAMPAIO, T. S.; LIMA, A. D.; NIZIO, D. A. DE C. Essential oils of *Lippia gracilis* and *Lippia sidoides* chemotypes and their major compounds carvacrol and thymol: nanoemulsions and antifungal activity against *Lasiodiplodia theobromae*. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, p. e36511326715, 26 fev. 2022.
- MITHÖFER, A.; BOLAND, W. Plant Defense Against Herbivores: Chemical Aspects. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, n. 1, p. 431–450, 2 jun. 2012.
- MONTEZANO, D. G.; SPECHT, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; ROQUE-SPECHT, V. F.; SOUSA-SILVA, J. C.; PAULA-MORAES, S. V.; PETERSON, J. A.; HUNT, T. E. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v. 26, n. 2, p. 286–300, set. 2018.
- MORAIS, S. DE; OLIVEIRA, T.; OLIVEIRA, L. DE; TRESVENZOL, L.; CONCEIÇÃO, E. DA; REZENDE, M.; FIUZA, T. D. S.; COSTA, E.; FERRI, P.; PAULA, J. DE. Essential oil composition, antimicrobial and pharmacological activities of *Lippia sidoides* cham. (verbenaceae) from São Gonçalo do Abaeté, Minas Gerais, Brazil. **Pharmacognosy Magazine**, v. 12, n. 48, p. 262–270, 1 out. 2016.

MORDUE(LUNTZ), A. J.; NISBET, A. J. Azadirachtin from the neem tree *Azadirachta indica*: its action against insects. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 29, n. 4, p. 615–632, dez. 2000.

MOSCARDINI, V. F.; MARQUES, L. H.; SANTOS, A. C.; ROSSETTO, J.; SILVA, O. A. B. N.; RAMPAZZO, P. E.; CASTRO, B. A. Efficacy of *Bacillus thuringiensis* (Bt) maize expressing *Cry1F*, *Cry1A*, *Cry2Ab2* and *Vip3Aa20* proteins to manage the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Crop Protection**, v. 137, p. 105269, nov. 2020.

Mota-Sanchez D., Wise J. The Arthropod Pesticide Resistance Database. Michigan State University. 2020. Acessada em novembro de 2025. Disponível online Available online: <http://www.pesticideresistance.org>

MOTA-SANCHEZ, D.; WISE, J. **Arthropod Pesticide Resistance Database**. Disponível em: <<https://www.pesticideresistance.org/index.php>>. Acesso em: 27 mar. 2025.

NAGHDI BADI, H. A.; ABDOLLAHI, M.; MEHRAFARIN, A.; GHORBANPOUR, M.; TOLYAT, S. M.; QADERI, A.; GHIACI YEKTA, M. An Overview on Two Valuable Natural and Bioactive Compounds, Thymol and Carvacrol, in Medicinal Plants. **Journal of Medicinal Plants**, v. 16, n. 63, 2017.

NERIO, L. S.; OLIVERO-VERBEL, J.; STASHENKO, E. Repellent activity of essential oils: A review. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 1, p. 372–378, jan. 2010.

NOBREGA, R. C. Avaliação de interações medicamentosas potenciais envolvendo antimicrobianos em uma unidade de terapia intensiva de um hospital público de Ensino em João Pessoa - PB. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Paraíba Paraíba, 2013.

NUNES, R. S.; LIRA, A. M.; XIMENES, E.; SILVA, J. A.; SANTANA, D. P. Caracterização da *Lippia sidoides* Cham. (Verbenaceae) como matéria-prima para uso em produtos farmacêuticos. **Scientia Plena**, v. 1, n. 1, p. 182–84, 2005.

OKUMA, D. M.; CUENCA, A.; NAUEN, R.; OMOTO, C. Large-Scale Monitoring of the Frequency of Ryanodine Receptor Target-Site Mutations Conferring Diamide Resistance in Brazilian Field Populations of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Insects**, v. 13, n. 7, p. 626, 13 jul. 2022.

OLIVEIRA, B.; MELO, C.; ALVES, P.; SANTOS, ABRAÃO; SANTOS, ANE; SANTANA, A.; ARAÚJO, A.; NASCIMENTO, P.; BLANK, A.; BACCI, L. Essential oil of *Aristolochia trilobata*: synthesis, routes of exposure, acute toxicity, binary mixtures and behavioral effects on leaf-cutting ants. **Molecules**, v. 22, n. 3, p. 335, 25 fev. 2017.

OLIVEIRA, E. R. DE; ALVES, D. S.; CARVALHO, G. A.; OLIVEIRA, B. M. R. G. DE; AAZZA, S.; BERTOLUCCI, S. K. V. Toxicity of *Cymbopogon flexuosus* essential oil and citral for *Spodoptera frugiperda*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 4, p. 408–419, ago. 2018.

OMOTO, C.; BERNARDI, O.; SALMERON, E.; SORGATTO, R. J.; DOURADO, P. M.; CRIVELLARI, A.; CARVALHO, R. A.; WILLSE, A.; MARTINELLI, S.; HEAD, G. P. Field-evolved resistance to *Cry1Ab* maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. **Pest Management Science**, v. 72, n. 9, p. 1727–1736, 4 set. 2016. DOI: 10.1002/ps.4201

- PINTO-ZEVALLOS, D. M.; MARTINS, C. B. C.; PELLEGRINO, A. C.; ZARBIN, P. H. G. Compostos orgânicos voláteis na defesa induzida das plantas contra insetos herbívoros. **Química Nova**, v. 36, n. 9, p. 1395–1405, 2013.
- POSOS-PARRA, O. A.; PITTENDRIGH, B. R.; WISE, J. C.; DIFONZO, C.; PATTERSON, E.; MOTA-SANCHEZ, D. Inheritance and Resistance Mechanisms of Field-Evolved Resistance to Pyrethroids in a Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) Strain from Puerto Rico. **Insects**, v. 15, n. 12, p. 912, 21 nov. 2024.
- REHMAN, R.; HANIF, M. A.; MUSHTAQ, Z.; AL-SADI, A. M. Biosynthesis of essential oils in aromatic plants: A review. **Food Reviews International**, v. 32, n. 2, p. 117–160, 2 abr. 2016.
- REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DA PESQUISA DO MILHO. Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul: safras 2017/2018 e 2018/2019. LXII Reunião Técnica Anual da Pesquisa do Milho; XLV Reunião Técnica Anual da Pesquisa do Sorgo, Sertão-RS, 2017, ISBN: 978-85-7035-767-**Embrapa**, Brasília-DF, 209 p., 2017.
- SANTOS, C. M. G.; SOUZA, J. I. R. DE; SANTOS, L. G. DOS; LIMA, J. A. M. DE C.; SANTOS, G. M. S. S. DOS. Controle de *Spodoptera frugiperda* no milho em campo com o uso de extratos botânicos. **Revista Contemporânea**, v. 4, n. 7, p. e5268, 31 jul. 2024.
- SANTOS, N. C.; SILVA, J. E. DA; SANTOS, A. C. C.; DANTAS, J. DE O.; TAVARES, S. R. S. A.; ANDRADE, V. S.; OLIVEIRA, S. D. DA S.; BLANK, A. F.; ARAÚJO, A. P. A.; BACCI, L. Bioactivity of essential oils from *Croton grewioides* and its major compounds: toxicity to soybean looper *Chrysodeixis includens* and selectivity to the predatory stink bug *Podisus nigrispinus*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 7, p. 18798–18809, 11 out. 2022.
- SAQUIB, S. A. Synergistic antibacterial activity of herbal extracts with antibiotics on bacteria responsible for periodontitis. **Journal of Infectious Diseases in Developing Countries**, v. 15, n. 11, p. 1685-1693, 2021.
- SCOTON, A. M. N.; DEGRANDE, P. E.; SILVA, M. B. DA; JACQUES, F. L.; LOURENÇÃO, A. L. F.; SOUZA, E. P. DE. *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH, 1797) (Lepidoptera: noctuidae) control and productive performance of bt maize genotypes. **BRAZILIAN JOURNAL OF AGRICULTURE - Revista de Agricultura**, v. 95, n. 1, p. 68, 30 abr. 2020.
- SHARMA, S.; TIWARI, S.; THAPA, R. B.; NEUPANE, S.; REDDY, G. V.; POKHREL, S.; MUNIAPPAN, R. Life cycle and morphometrics of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: noctuidae) on maize crop. **SAARC Journal of Agriculture**, v. 20, n. 1, p. 77–86, 20 jul. 2022.
- SILVA, L. E. B.; SILVA, J. C. DE S.; SOUZA, W. C. L. DE; LIMA, L. L. C.; SANTOS, R. L. V. DOS. Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.): revisão de literatura. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1636–1657, 5 jul. 2020.
- SILVA, S. M.; CUNHA, J. P. A. R. DA; CARVALHO, S. M. DE; ZANDONADI, C. H. S.; MARTINS, R. C.; CHANG, R. *Ocimum basilicum* essential oil combined with deltamethrin to improve the management of *Spodoptera frugiperda*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 6, p. 665–675, dez. 2017.

- SILVA, V. A.; FREITAS, A. F. R.; PEREIRA, M. S. V.; SIQUEIRA JÚNIOR, J. P.; PEREIRA, A. V.; HIGINO, J. S. Avaliação in vitro da atividade antimicrobiana do extrato da *Lippia sidoides* Cham. sobre isolados biológicos de *Staphylococcus aureus*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 12, n. 4, p. 452–455, dez. 2010.
- SILVA, W. DOS S.; SOARES, B.; ALMEIDA, V. DE L.; VIANA, L.; PASTORI, P. L.; MAGALHÃES, D. M. V.; ROCHA, A. R. DA. **Deteccção da praga *Spodoptera frugiperda* no cultivo de milho usando armadilhas Inteligentes e visão computacional**. Anais do XV Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais (WCAMA 2024). **Anais**. Sociedade Brasileira de Computação - SBC, 21 jul. 2024
- SMIGIELSKI, K.; PRUSINOWSKA, R.; STOBIECKA, A.; KUNICKA-STYCZYŃSKA, A.; GRUSKA, R. Biological Properties and Chemical Composition of Essential Oils from Flowers and Aerial Parts of Lavender (*Lavandula angustifolia*). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 21, n. 5, p. 1303–1314, 3 set. 2018.
- SODERLUND, D.M.; BLOOMQUIST, J.R. Neurotoxic actions of pyrethroid insecticides. *Annual Review of Entomology*, v.34, p.77–96, 1989. DOI: 10.1146/annurev.en.34.010189.000453.
- SOUZA, DE W. C. L.; SILVA, L. E. B.; SILVA, R. L. V. DA; LIMA, L. L. C.; BRITO, D. R. Aspectos comparativos entre milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench): diferenças e semelhanças. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 4, p. 2337–2357, 26 out. 2020.
- SPARKS, A. N. A review of the biology of the fall armyworm. **The Florida Entomologist**, v. 62, n. 2, p. 82, jun. 1979.
- TABASHNIK, B. E.; MOTA-SANCHEZ, D.; WHALON, M. E.; HOLLINGWORTH, R. M.; CARRIÈRE, Y. Defining terms for proactive management of resistance to Bt crops and pesticides. **Journal of Economic Entomology**, v. 107, n. 2, p. 496–507, 1 abr. 2014.
- TAY, W. T.; KUNIATA, L.; JAMES, W.; WALSH, T. Confirmation of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Papua New Guinea by molecular diagnostics of mitochondrial DNA COI gene. **BioInvasions Records**, v. 12, n. 1, p. 103–116, 2023.
- TEIXEIRA, L.A.; ANDALORO, J.T. Diamide insecticides: Global efforts to address insect resistance stewardship challenges. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, v.106, p.76–78, 2013. DOI: 10.1016/j.pestbp.2013.01.010.
- VERAS, H. N. H.; ARARUNA, M. K. A.; COSTA, J. G. M.; COUTINHO, H. D. M.; KERNTOPF, M. R.; BOTELHO, M. A.; MENEZES, I. R. A. Topical Antiinflammatory Activity of Essential Oil of *Lippia sidoides* Cham: Possible mechanism of action. **Phytotherapy Research**, v. 27, n. 2, p. 179–185, 18 fev. 2013.
- YU, S. J.; NGUYEN, S. N.; ABO-ELGHAR, G. E. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 77, n. 1, p. 1–11, set. 2003.
- ZAIDI, S. W. N.; SADDIQ, B.; AFZAL, M. B. S.; BANAZEER, A.; SERRÃO, J. E.; FAROOQ, U.; BALOCH, M. A. Z. First report of resistance in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to lambda-cyhalothrin from Pakistan: baseline susceptibility,

selection, occurrence of cross-resistance, realized heritability, and inheritance mode of resistance. **Journal of Economic Entomology**, v. 117, n. 4, p. 1636–1647, 12 ago. 2024.

ZENKER, M. M.; SPECHT, A.; CORSEUIL, E. Estágios imaturos de *Spodoptera cosmioides* (Walker) (Lepidoptera, Noctuidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 24, n. 1, p. 99–107, mar. 2007.

ZHANG, D.; XIAO, Y.; XU, P.; YANG, X.; WU, Q.; WU, K. Insecticide resistance monitoring for the invasive populations of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in China. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 20, n. 3, p. 783–791, mar. 2021.