

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS LAGOA DA CONFUSÃO
CURSO SUPERIOR ENGENHARIA AGRÔNOMICA

BIANCA SILVA SANTOS

**CONTROLE ALTERNATIVO DA LAGARTA-DO-CARTUCHO (*Spodoptera*
frugiperda) NA CULTURA DO MILHO: uma revisão**

LAGOA DA CONFUSÃO

2026

BIANCA SILVA SANTOS

CONTROLE ALTERNATIVO DA LAGARTA-DO-CARTUCHO (*Spodoptera frugiperda*) NA CULTURA DO MILHO: UMA REVISÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Agrônômica da Unidade Lagoa da Confusão, do Instituto Federal do Tocantins, como exigência à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Dr. Liomar Borges de Oliveira

LAGOA DA CONFUSÃO

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S237c Santos, Bianca Silva
Controle alternativo da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera*
Frugiperda) na cultura do milho : uma revisão / Bianca Silva Santos.
– Lagoa da Confusão, TO, 2026.
27 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Agrônômica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Tocantins, Campus Lagoa da Confusão, Lagoa da Confusão, TO,
2026.

Orientador: Dr. Liomar Borges de Oliveira

1. *Spodoptera frugiperda*. 2. Milho. 3. Extratos vegetais. I.
Oliveira, Liomar Borges de. II. Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Reitoria
Campus Lagoa da Confusão
Coordenação do Curso Superior em Engenharia Agrônômica

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CONTROLE ALTERNATIVO DA LAGARTA-DO-CARTUCHO (*Spodoptera frugiperda*) NA CULTURA DO MILHO: UMA REVISÃO

AUTOR : Bianca Silva Santos
ORIENTADOR: Liomar Borges de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus* Lagoa da Confusão, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em 14 de agosto de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Liomar Borges de Oliveira
Orientador
IFTO/Campus Lagoa da Confusão

Ma. Karen Cristina Leite Silva
Membro
IFTO/Campus Lagoa da Confusão

Dr. Reinaldo Ferreira Medeiros
Membro
IFTO/Campus Lagoa da Confusão



Documento assinado eletronicamente por **Karen Cristina Leite Silva, Servidora**, em 14/08/2026, às 15:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Liomar Borges de Oliveira, Servidor**, em 14/08/2026, às 15:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Reinaldo Ferreira Medeiros, Diretor-Geral**, em 14/08/2026, às 15:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ifto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3285417** e o código CRC **6521279B**.

Rua 02, Quadra 05A, Lote 01, Setor Lagoa da Ilha — CEP 77.493-000 — Lagoa da Confusão/TO
portal.ifto.edu.br — reitoria@ifto.edu.br

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança para superar todos os desafios ao longo desta caminhada. À minha família, pelo amor incondicional, incentivo e apoio constante, que foram fundamentais para a realização deste sonho.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha sincera gratidão ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), por proporcionar um ambiente de ensino de excelência, contribuindo significativamente para minha formação acadêmica e profissional.

Agradeço a todos os professores que fizeram parte desta trajetória, pelos conhecimentos compartilhados, pela dedicação, paciência e incentivo constante ao longo do curso. Cada ensinamento foi fundamental para minha construção pessoal e profissional.

Aos meus colegas de turma, agradeço a convivência, amizade, companheirismo e pelos momentos de aprendizado compartilhados, que tornaram essa caminhada mais leve e enriquecedora.

Estendo também meus agradecimentos a todos os servidores, técnicos administrativos, colaboradores e demais funcionários do IFTO, que, com comprometimento e profissionalismo, contribuíram direta ou indiretamente para minha formação e para a realização deste trabalho.

A todos que fizeram parte desta importante etapa da minha vida, meu profundo respeito, reconhecimento e gratidão.

“O rio consegue chegar no seu objetivo porque aprendeu a contornar seus obstáculos” (Lao Tsé)

RESUMO

A *Spodoptera frugiperda* é considerada uma das pragas mais importante para a cultura do milho (*Zea mays* L.). Essa praga, além do milho tem como hospedeiros dezenas de plantas o que torna mais difícil seu controle, além de apresentar distribuição por todos os continentes causando danos significativos nas lavouras de milho. Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi identificar e caracterizar os principais métodos de controle alternativos dessa praga através da revisão de literatura. Para isso foi feito um levantamento de artigos, teses e comunicados técnicos relacionado a lagarta-do-cartucho e seus métodos de controle. Para seleção dos artigos adotou-se o uso de plataformas como: Web of Science, Scopus e SciELO, através do login institucional no portal periódico da capes. O controle químico continua sendo um dos principais métodos de controle dessa praga, juntamente com o uso de cultivares transgênicas. No entanto, o uso contínuo dessas tecnologias vem acarretando na seleção de indivíduos cada vez mais resistentes, dificultando cada vez mais o manejo. O uso de fungos entomopatogênicos, bactérias, vírus, óleos essenciais e extratos vegetais têm se mostrado promissores no controle da *S. frugiperda*. Através desta pesquisa, ficou evidente que o uso de métodos alternativos pode ser uma saída para o uso crescente de pesticidas sintéticos. Contudo, a eficácia desses Bioinsumos é dependente de variáveis microclimáticas e do estágio de desenvolvimento larval, demandando protocolos de aplicações precisas para assegurar resultados satisfatórios. Além das limitações técnicas, notadamente a alta volatilidade, a instabilidade foto degradável das formulações e o risco de fitotoxicidade por produtos químicos e bioinsumo, caso as dosagens não sejam rigorosamente ajustadas. Portanto fica evidente a necessidade de pesquisas em campo para validar esses métodos com a adoção de novos métodos de aplicação para esses produtos.

Palavras-chave: *Spodoptera frugiperda*; Milho; Extratos vegetais; MIP- Manejo integrado de pragas.

ABSTRACT

The fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) is considered one of the most important pests of maize (*Zea mays* L.). Besides maize, this pest has dozens of other plants as hosts, making its control more difficult. Furthermore, it is distributed across all continents, causing significant damage to maize crops. Given this, the objective of this research was to identify and characterize the main alternative control methods for this pest through a literature review. To this end, a survey of articles, theses, and technical communications related to the fall armyworm and its control methods was conducted. For article selection, platforms such as Web of Science, Scopus, and SciELO were used, via institutional login on the CAPES periodicals portal. Chemical control remains one of the main methods for controlling this pest, along with the use of transgenic cultivars. However, the continuous use of these technologies has led to the selection of increasingly resistant individuals, making management increasingly difficult. In this scenario, alternative control emerges as a new alternative to ensure the sustainability and productivity of crops. The use of entomopathogenic fungi, bacteria, viruses, essential oils, and plant extracts has shown promise in controlling. This research demonstrated that alternative methods could offer a solution to the growing reliance on synthetic pesticides. Nevertheless, the efficacy of these bio-inputs depends on microclimatic variables and the larval developmental stage, requiring precise application protocols to ensure satisfactory results. There are also technical limitations—notably high volatility, the photodegradability of formulations, and the risk of phytotoxicity if dosages are not rigorously adjusted. Therefore, there is a clear need for field research to validate these methods and to adopt new application techniques for these products.

Keywords: *Spodoptera frugiperda*; Maize; Plant extracts; IPM - Integrated pest management.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO.....	15
2.1 Objetivo geral.....	15
2.2 Objetivos específicos	15
3. DESENVOLVIMENTO	15
3.1. Metodologia	15
3.2 Cultura do milho.....	16
3.3 Lagarta do cartucho	16
3.4. Controle químico.....	18
3.5 Manejo Integrado de Pragas- MIP	18
3.6 Controle alternativo.....	19
3.7 Comparativo entre os diferentes métodos de controle e limitações.....	22
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	24
REFERÊNCIAS.....	25

1 INTRODUÇÃO

A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), estabeleceu -se como uma das pragas de maior impacto econômico na agricultura tropical e subtropical. Com um comportamento polífago agressivo, o inseto consome mais de 80 espécies botânicas, embora seja no milho que sua capacidade destrutiva se torna mais evidente. O dano ocorre em diversos estágios fenológicos, culminando em prejuízos severos à produtividade. A capacidade de infestação da *S. frugiperda* é ampliada por atributos biológicos como o ciclo de vida curto do inseto, a elevada taxa de dispersão e a versatilidade alimentar (Srikanth *et al.*, 2018; Bakry e Abdek-Baky, 2024).

No que se refere ao controle, o modelo tradicional baseou -se por longo tempo em tratamentos químicos, incluindo carbamatos, organofosforados, piretróides e neonicotinóides. A partir da década de 90 com advento da biotecnologia foram criadas as primeiras cultivares de milho contendo a tecnologia Bt. No Brasil, essa tecnologia passou a ser utilizada comercialmente a partir de 2008, consolidando o emprego de plantas transgênicas portadoras de proteínas *Cry* (*Bacillus thuringiensis*) como medida complementar de proteção (Michelotto *et al.*, 2013; Botha *et al.*, 2019; Bateman *et al.*, 2018).

Embora tais ferramentas tenham impulsionado a produtividade agrícola nas últimas décadas (Sharanappa *et al.*, 2023), o modelo atual de manejo enfrenta um grave entrave técnico, a rápida seleção de populações resistentes. Ao adotar a tecnologia Bt, o seu uso contínuo aumenta a pressão de seleção sobre as populações de *Spodoptera frugiperda* conferindo a esses insetos resistência às proteínas *Cry*, com isso o manejo inadequado acelera a perda da eficiência dessa tecnologia, promovendo dessa forma a busca por alternativas (Feldmann *et al.*, 2023).

Apesar da eficiência desse modelo atual, o emprego contínuo de tais tecnologias acabam por selecionar indivíduos cada vez mais resistente as moléculas químicas. Somando se a isso, cria - se a necessidade de aumentar o número de aplicações demandando maiores investimentos na compra de pesticidas, além de acarretar um desequilíbrio biológico afetando principalmente os inimigos naturais e consequentemente interferindo também nos processos biológicos do solo, como a atividade enzimática, que é um indicador direto da qualidade e saúde deste microbiota (Cruz *et al.*, 2017; Campos *et al.*, 2019; Sombra *et al.*, 2020).

Considerando o cenário atual, em que há uso contínuo e em larga escala de pesticidas químicos, certos efeitos negativos têm ocorrido em termos de qualidade do solo, microbiota e fauna edáfica, afetando o equilíbrio dos agroecossistemas. Além das consequências negativas para o meio ambiente, as demandas atuais do mercado internacional exigem que os alimentos produzidos provenham de sistemas sustentáveis, com resíduos químicos mínimos. Nesse sentido, é necessário encontrar formas alternativas de manejo que atendam a essas demandas e, ao mesmo tempo, aumentem a produtividade (Tang *et al.*, 2022).

A utilização de fungos entomopatogênicos, bactérias e compostos bioativos de plantas aromáticas surge como uma estratégia promissora, superando modelos tradicionais ao oferecer um controle que prioriza a segurança ambiental e a seletividade sobre os alvos (Cruz *et al.*, 2017; Alves *et al.*, 2022; Hruska, 2019). A utilização de Bioinsumos no manejo de *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho também ganhou destaque. Dentre as alternativas o uso de fungos do gênero *Beauveria* e *Metarhizium*, apresentam eficiência no controle desta praga uma vez que ao infectar o alvo causa a mortalidade em diferentes fases, diminuindo significativamente sua sobrevivência e reprodução, além de ser menos nocivo ao meio ambiente (Ullah *et al.*, 2023).

Complementarmente o uso de compostos bioativos extraídos de plantas aromáticas tem ganhado notoriedade como alternativa de manejo de *Spodoptera frugiperda*. Segundo Vivekanadhan *et al.* (2023), o uso de óleos essenciais e extratos vegetais de plantas aromáticas apresentam ação inseticida, repelente e deterrência alimentar, alterando o comportamento das pragas e reduzindo a alimentação da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) sobre a planta hospedeira, o que contribui para a diminuição de suas populações. Esses compostos têm despertado crescente interesse devido ao seu menor potencial de impacto ambiental e ecológico em comparação aos inseticidas sintéticos, além de atenderem às exigências do mercado internacional, que demanda sistemas de produção cada vez mais sustentáveis.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Analisar, por meio de revisão de literatura, a eficiência de métodos alternativos no controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) na cultura do milho.

2.2 Objetivos específicos

Identificar os principais métodos alternativos utilizados no controle de *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho;

Avaliar a eficiência de agentes de controle biológico no manejo da praga;

Analisar os efeitos do uso de extratos vegetais e óleos essenciais sobre o desenvolvimento e sobrevivência da lagarta;

Comparar os diferentes métodos alternativos quanto à eficiência, limitações e aplicabilidade no manejo integrado de pragas.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Metodologia

A metodologia aplicada nesta pesquisa consistiu em uma revisão de literatura qualitativa dos últimos 10 anos, sobre os aspectos de manejo alternativo para controle de *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho. Para seleção dos artigos adotou-se o uso de plataformas como: Web of Science, Scopus e SciELO, através do login institucional no portal periódico da Capes.

Para busca dos artigos adotou-se o uso de termos chaves como ("*Spodoptera frugiperda*" OR "fall armyworm") AND (maize OR corn) AND ("alternative control" OR "biological control" OR "botanical insecticide" OR "plantextract" OR "essential oil" OR "biopesticide"). Em seguida foi feita a seleção dos trabalhos por título e resumo.

Após a seleção dos trabalhos foram aplicados os critérios de exclusão nos quais os trabalhos que não abordavam *Spodoptera frugiperda* e a cultura do milho eram excluídos bem como também trabalhos de revisão.

A análise concentrou -se nos resultados, discussões e conclusões das obras selecionadas, assegurando o rigor técnico. As informações foram organizadas e

categorizadas tematicamente, permitindo uma síntese comparativa sobre a eficiência, as limitações e a viabilidade prática de cada tecnologia avaliada.

32 Cultura do milho

O milho é o principal cereal produzido no Brasil, possuindo possibilidade de cultivo em três safras. Devido suas características fisiológicas, a cultura tem alto potencial produtivo (Feldmann *et al.*, 2023).

Apresenta ciclo fenológico dividido em estádios vegetativos (VE-VT) e reprodutivos (R1–R6). O primeiro estágio corresponde ao VE, onde inicia-se a germinação na presença de água no solo, no qual irá emitir a radícula e coleótilo até a emergência total da plântula, o que pode durar de 4 a 7 dias dependendo do teor de umidade no solo. Nos estádios vegetativos iniciais que vai de V1 a V8 levando de 3 a 5 dias cada estágio vegetativo, ocorre o intenso processo de desenvolvimento radicular e foliar o qual vai definir o potencial produtivo da cultura. Em seguida vem a fase do pendoamento que pode durar até 2 semanas (EMBRAPA, 2021).

A partir da nona semana, inicia a fase reprodutiva que vai de R1 a R6. Na fase R1 ocorre florescimento, R2 é a fase de grãos leitosos, R3 a de grãos pastosos, R4 é a de grãos farináceos, R5 grãos duros e R6 maturação fisiológica. A fase reprodutiva dura, em média 70 dias do florescimento até maturação (Bergamaschi; Matzenauer, 2014).

Durante os estádios fenológicos V6 a V8, a cultura do milho apresenta maior susceptibilidade ao ataque de *Spodoptera frugiperda*. Esse período é crítico devido à consolidação do cartucho foliar, que atua como um micro habitat ideal, oferecendo abrigo contra inimigos naturais e condições microclimáticas favoráveis ao desenvolvimento e alimentação das larvas (Tavares *et al.*, 2017).

33 Lagarta do cartucho

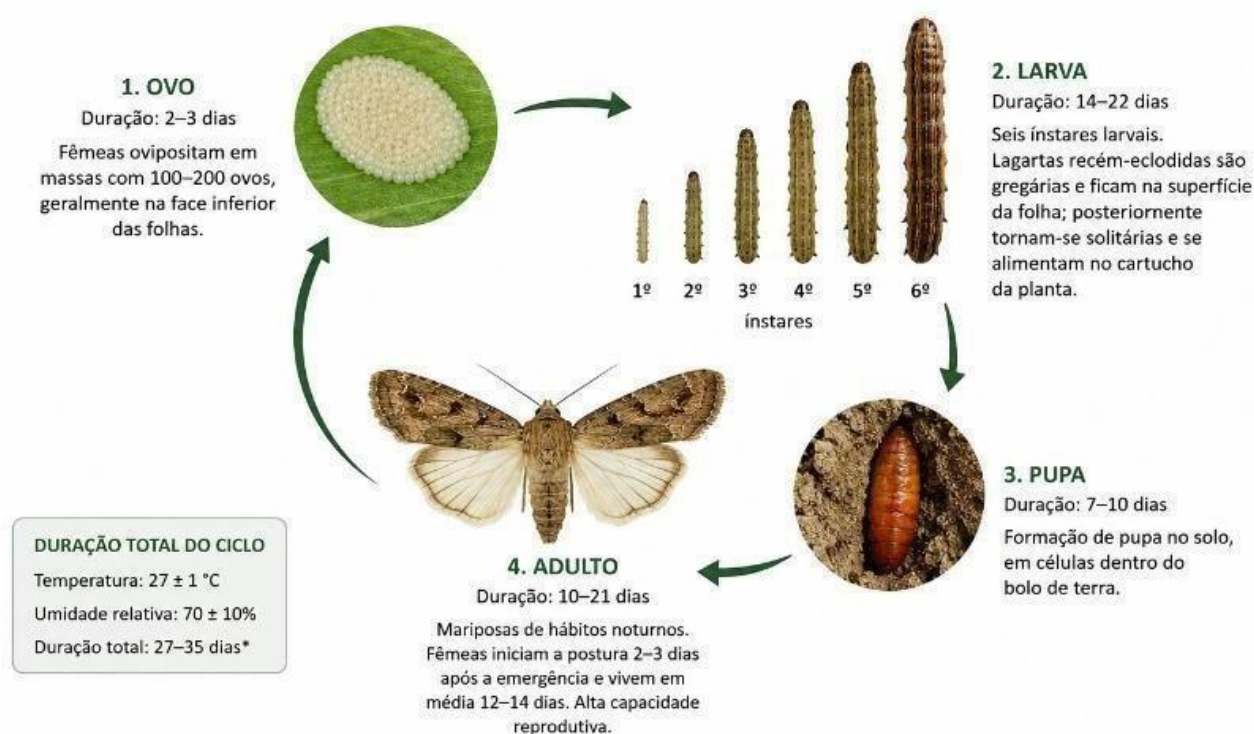
A Lagarta-do-cartucho, (*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)) é um inseto cosmopolita e polífago, com uma ampla variedade de espécies de plantas hospedeiras registradas como soja, feijão, algodão e videira (Montezano *et al.*, 2018; Bortolotto *et al.*, 2021).

As fêmeas adultas têm vida relativamente curta (13–19 dias a 26,8 °C), mas são altamente fecundas, com cerca de 1000 ovos sendo depositados por fêmea, em

aglomerados de 100–300, geralmente na superfície das folhas apresentando alta taxa de fecundidade e fertilidade (Montezano *et al.*, 2019).

Em temperaturas ótimas para a eclosão dos ovos ($\approx 30^{\circ}\text{C}$), todos os ovos eclodem em apenas dois dias. A pupação geralmente ocorre no solo (Figura 1). Quando criadas na mesma planta hospedeira, quanto maior o tempo de desenvolvimento larval, maior será o estágio pupal resultante (Du Plessis *et al.* 2020; Huang *et al.* 2021).

Figura 1- Ciclo Biológico da *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)



Fonte: (Adaptado de Montezano *et al.*, 2019)

Os principais danos econômicos causados pela *Spodoptera frugiperda* são observados nos estágios larvais, que podem ser influenciados pelo período chuvoso. Na presença de chuvas intensas os danos diminuem, uma vez que a chuva carrega as larvas para o solo tirando-as da planta (Adjaoke *et al.*, 2023).

Segundo Carneiro *et al.* (2025), as perdas causadas pela presença *S. frugiperda* podem variar de 17% até 39% na produtividade de milho, sendo influenciado pelo estágio de desenvolvimento em que a planta se encontra, ambiente, clima e, principalmente, cultivar, afetando diretamente a comercialização do grão.

3.4. Controle químico

O controle químico permanece como a tática de resposta mais rápida, embora enfrente limitações severas devido à resistência e ao comportamento da praga. Inseticidas a base de clorpirifós e iscas químicas demonstram eficácia imediata, mas apresentam alta toxicidade para organismos não-alvo (Gaibor-Fernández *et al.*, 2023).

Populações de *S. frugiperda* no Brasil já apresentam resistência consolidada a diversas classes, incluindo piretroides, organofosforados, carbamatos e inibidores de síntese de quitina como o lufenuron. Insetos resistentes ao clorpirifós demonstraram custo de adaptação (*fitness cost*), apresentando menor peso larval e redução na fecundidade quando o agente seletivo é removido (Garlet *et al.*, 2021).

Inovações na aplicação, como o uso de drones para dispersão de grânulos, mostraram-se superiores à pulverização líquida tradicional. Formulações granuladas contendo clorantianiliprole e benzoato de emamectina atingem o interior do cartucho com mais eficiência, proporcionando um controle mais duradouro (dias) devido à liberação controlada dos ativos (Yan *et al.*, 2022).

O uso de inseticidas modernos como o espirotetramat e o espinosade também se mostrou eficaz contra mariposas adultas, sugerindo que táticas direcionadas a adultos podem reduzir drasticamente a oviposição e a subseqüente população larval na cultura (Bird & Drynan, 2023).

3.5 Manejo Integrado de Pragas- MIP

O Manejo Integrado de Pragas (MIP) é considerado o método de manejo mais eficaz e sustentável para o controle de *S. frugiperda*, devido à sua adaptabilidade e resistência a inseticidas em condições de cultivo intensivo. A essência do MIP reside na integração de diversos métodos de manejo de pragas, como o monitoramento populacional, o controle biológico, o uso racional de inseticidas seletivos, plantas Bt, medidas culturais de controle. Com o objetivo de impedir que a praga ultrapasse o

nível de dano econômico. Recentemente, pesquisas têm demonstrado que o MIP pode ser utilizado com sucesso como a ferramenta de manejo mais sustentável e eficiente para o controle da praga, garantindo a preservação do ecossistema e os benefícios econômicos (Mahmood; Parwez, 2024).

Entre os instrumentos mais comumente utilizados para o manejo da espécie estudada no MIP estão os parasitoides do gênero *Trichogramma*, os bioinseticidas *Bacillus thuringiensis* e o baculovírus SfMNPV, além do monitoramento por meio de armadilhas com feromônio sexual. Estudos recentes comprovaram que uma abordagem integrativa baseada no uso racional de inseticidas, juntamente com o controle biológico e as tecnologias Bt, é mais eficaz (Sampaio *et al.*, 2024).

3.6 Controle alternativo

3.6.1 Controle biológico

O controle biológico de *Spodoptera frugiperda* apresenta-se como uma alternativa viável, fundamentada no uso de fungos entomopatogênicos, bactérias e inimigos naturais, embora sua eficiência varie conforme o estágio de desenvolvimento da praga e as condições experimentais. Estudos laboratoriais com o fungo *Metarhizium guizhouense* (cepa Xct1) demonstraram alta patogenicidade contra ovos, com taxa de eclosão de apenas 8,33% na concentração de esporos/ml. Observou-se, contudo, que a mortalidade larval decresce com o avanço dos ínstares, sendo mais efetiva em lagartas jovens, onde a mortalidade corrigida superou 50% nos três primeiros ínstares sob exposição a esporos de $8,12 \times 10^4$; $1,11 \times 10^5$ e $5,55 \times 10^5$ esporos/ml respectivamente (WEI *et al.*, 2023).

Em condições de campo, a aplicação de *Beauveria bassiana* (Bb) isoladamente ou em mistura com extrato de nim (*Azadirachta indica*) resultou nas menores porcentagens de incidência da praga após 15 dias de aplicação, assemelhando-se à eficiência do controle químico a partir do 12º dia após a germinação. A persistência dos esporos de *B. bassiana* no ambiente é um fator determinante para a redução gradual da incidência (Gaibor-Fernández *et al.*, 2023).

Quanto ao uso de bactérias, o milho transgênico expressando proteínas de *Bacillus thuringiensis* (Bt) demonstrou eficiência superior aos híbridos convencionais na redução de injúrias foliares, destacando-se as proteínas Cry1F, Cry1A105 e

VIP3Aa20 como as mais eficazes. No entanto, híbridos que expressam apenas Cry1Ab apresentaram menor eficácia isolada, exigindo complementação com inseticidas químicos para controle satisfatório (Michelotto *et al.*, 2017).

Fêmeas de *S. frugiperda* demonstram interesse por oviposição em híbridos transgênicos, depositando massas de ovos maiores e em maior número nessas plantas, o que influencia diretamente a pressão inicial da praga (Nascimento *et al.*, 2020). Alternativamente, a associação de *B. thuringiensis* var. *aizawai* (Bta) com óleos essenciais, como o de pimenta longa (*Piper hispidinervum*), potencializou a redução da sobrevivência larval e interferiu na imunidade humoral e viabilidade dos ovos (Cruz, 2012).

O uso de nematoides entomopatogênicos (NEPs) e vírus também apresenta resultados promissores. *Steinernema carpocapsae* mostrou-se mais eficiente que *Heterorhabditis bacteriophora* em laboratório, especialmente quando os juvenis foram submetidos a radiação gama (2 Gy), o que aumentou sua patogenicidade (Sayed *et al.*, 2022).

Já o baculovírus SpfrNPV, em altas concentrações, reduziu a eclosão larval para menos de 50% e afetou parâmetros biológicos subsequentes, como longevidade de adultos e peso pupal, sugerindo um efeito inibitório duradouro na população da praga (Onkarappa *et al.*, 2023).

No campo, a presença de predadores naturais observados, com destaque para indivíduos das famílias Formicidae (formigas), Coccinellidae (joaninhas) e Forficulidae (tesourinhas), correlacionou-se inversamente com a presença de lagartas em estágios avançados, indicando que o incremento populacional desses inimigos naturais minimiza os danos à cultura (Adjaoke *et al.*, 2023).

3.6.2 Extratos vegetais

Os extratos botânicos atuam como agentes inseticidas e reguladores de crescimento, com variações significativas de eficiência dependendo do solvente e da planta utilizada. Extratos cianobacterianos de *Nostoc muscorum* e *Spirulina* sp. obtidos com hexano apresentaram os menores valores (49,09 ppm e 61,37 ppm, respectivamente), demonstrando toxicidade aguda contra lagartas de segundo instar e afetando significativamente a fecundidade e a longevidade dos adultos (Sharanappa *et al.*, 2023).

Comparativamente, o extrato aquoso das cascas de pequi (*Caryocar brasiliense*), aplicado em campo, reduziu o número de injúrias foliares, sendo a concentração de 5% a mais eficiente; entretanto, a dose de 10% causou fitotoxicidade às plantas de milho (Cruz *et al.*, 2017).

O extrato de nim (*Azadirachta indica*) destacou-se pela redução da incidência da praga em condições de campo no Equador, apresentando uma resposta diferenciada ao longo do tempo.

Diferente dos inseticidas químicos, que mantiveram baixa incidência desde o início, o nim exigiu um tempo de ação superior a nove dias para manifestar efeitos significativos na redução populacional (Gaibor-Fernández *et al.*, 2023). Além da mortalidade direta, extratos de plantas como *Trichilia pallida* (via ingestão) e *Piper aduncum* têm demonstrado eficácia na inibição do desenvolvimento e redução da sobrevivência de *S. frugiperda* (Cruz *et al.*, 2022; Dutra, 2018).

O maior desafio para a recomendação desses extratos permanece na volatilidade e na necessidade de tecnologias que melhorem a estabilidade dos derivados vegetais frente a fatores ambientais (Crespo *et al.*, 2021).

3.6.3 Óleos essenciais

O uso de óleos essenciais (OEs) revela alta toxicidade e múltiplos modos de ação, incluindo efeitos neurotóxicos e histopatológicos. Os OEs de *Lippia microphylla* e *Corymbia citriodora* apresentaram eficiência tanto por aplicação tópica quanto por voláteis, com o óleo de *C. citriodora* destacando-se pelo efeito fumigante (Cruz *et al.*, 2022). Em ensaios comparativos, o óleo de *Piper corcovadensis* demonstrou superioridade toxicológica em relação a *P. marginatum* e *P. arboreum*, com a menor (3,58 mg/g) e capacidade de provocar danos severos no intestino médio das lagartas, incluindo o aumento do índice apoptótico em 25%. Esses danos histológicos comprometem a absorção de nutrientes, resultando em redução dos níveis de glicogênio e proteínas totais (Dutra, 2018).

A ação repelente e antialimentar é outra característica marcante dos OEs. Compostos isolados como limoneno e trans-anetol, especialmente em associação, causaram efeitos adversos na nutrição e reprodução, alterando parâmetros essenciais para a sobrevivência da praga (Cruz, 2011). Além disso, o linalol apresentou efeito sinérgico quando combinado com inseticidas do grupo dos

piretroides, potencializando a mortalidade larval e sugerindo seu uso em programas de manejo de resistência (Silva *et al.*, 2020).

Um aspecto crítico na aplicação de OEs é a seletividade. Enquanto os óleos de *Vanillosmopsis arborea* e *L. microphylla* não foram seletivos ao predador *Euborellia annulipes*, causando mortalidade similar à observada na praga (Alves *et al.*, 2022), o óleo de *Lippia sidoides* e seu componente majoritário timol demonstraram maior seletividade para o percevejo predador *Podisus nigrispinus* em comparação ao inseticida sintético deltametrina. Enquanto a deltametrina causou 100% de mortalidade no predador em menos de 3 horas, o óleo de *L. sidoides* apresentou um tempo letal significativamente superior (119 h), permitindo uma janela de ação para o inimigo natural no agroecossistema (Lima *et al.*, 2020).

3.6.4 Encapsulamento de óleos essenciais

A micro e nanoencapsulação são utilizadas para controlar as propriedades de liberação dos óleos essenciais, aprimorar as diversas características dos óleos essenciais, e permitir a expansão de aplicações em diferentes áreas (Yammine *et al.*, 2024).

Para além da preservação da integridade química, o encapsulamento permite a modulação da cinética de liberação, reduzindo significativamente o desperdício de insumos e potencializando a eficiência operacional. No setor agroindustrial, a liberação lenta de voláteis minimiza perdas por evaporação, estendendo a persistência de bioinseticidas e fungicidas naturais no campo (Chowdhury; Kar; Mazumder, 2024).

Como uma tendência emergente, os nanomateriais micro/mesoporosos (NMs) têm atraído grande atenção para o encapsulamento e a liberação controlada de ingredientes ativos de óleos essenciais - IAEs, devido às suas características estruturais de poros ajustáveis (Su *et al.*, 2024).

3.7 Comparativo entre os diferentes métodos de controle e limitações

O controle químico e as tecnologias Bt (milho transgênico) destacam-se pela alta eficiência inicial e facilidade de uso, mas apresentam variações importantes. Enquanto inseticidas como o clorpirifós e iscas químicas oferecem mortalidade

imediate, biopesticidas como o nim (*Azadirachta indica*) e o fungo *Beauveria bassiana* exigem um tempo de ação superior a nove dias para manifestar efeitos significativos na redução da incidência da praga no campo (Gaibor-Fernández *et al.*, 2023).

No caso das proteínas Bt, a eficiência é altamente dependente do evento gênico: a proteína Vip3Aa20 mantém alta toxicidade contra populações de campo, enquanto as proteínas Cry1F e Cry1Ab já apresentam falhas de controle devido ao desenvolvimento de resistência (Montezano *et al.*, 2018).

Os óleos essenciais (OEs) e extratos vegetais oferecem uma eficiência multifacetada. O óleo de *Corymbia citriodora*, por exemplo, possui efeito fumigante superior, o que é estrategicamente vantajoso para atingir a lagarta abrigada no cartucho do milho. Já o óleo de *Piper corcovadensis* demonstrou alta toxicidade aguda (DL 50 de 3,58 mg/g) e capacidade de provocar danos histológicos permanentes no sistema digestório da praga, superando outros óleos do mesmo gênero (Dutra, 2018).

As principais limitações do controle químico e do milho Bt residem na resistência consolidada e no impacto sobre organismos não-alvo. Populações brasileiras de *S. frugiperda* já possuem resistência a múltiplas classes de inseticidas (piretroides, organofosforados e carbamatos) e a certas proteínas Cry. Além disso, o uso contínuo de químicos sintéticos, como a deltametrina, causa mortalidade rápida e massiva de predadores naturais como o percevejo *Podisus nigrispinus* (Galert *et al.*, 2021).

Para os métodos botânicos (extratos e OEs), o maior desafio técnico é a alta volatilidade e instabilidade ambiental, que reduzem o efeito residual no campo. Outra limitação é o potencial de fitotoxicidade, como observado com o extrato de pequi em concentrações de 10%, que causou danos às folhas do milho. No controle biológico com fungos, a patogenicidade é limitada pelo estágio de desenvolvimento da praga, sendo muito alta para ovos e lagartas de primeiros ínstares, mas reduzindo-se drasticamente conforme o crescimento larval (Wei *et al.*, 2023).

A aplicabilidade desses métodos no MIP depende da sua seletividade e capacidade de sinergismo. Seletividade: OEs como o de *Lippia sidoides* e compostos como o timol são altamente recomendados para o MIP, pois são mais tóxicos para a praga do que para o predador *P. nigrispinus*, permitindo a integração de táticas botânicas e biológicas. Em contraste, alguns óleos como os de *Vanillosmopsis*

arborea e *Lippia microphylla* não são seletivos a predadores como a tesourinha *Euborellia annulipes* (Alves *et al.*, 2022).

A associação de OEs com inseticidas químicos (ex: linalol + piretroides) ou com bactérias entomopatogênicas (ex: óleo de pimenta longa + *B. thuringiensis*) potencializa a mortalidade e pode reduzir a pressão de seleção para resistência.

O uso de nanotecnologia e encapsulamento é visto como a solução primordial para mitigar a volatilidade dos botânicos, prolongando sua permanência no campo. Além disso, inovações como o uso de drones para dispersão de grânulos aumentam a aplicabilidade prática ao garantir que o agente de controle (químico ou biológico) penetre efetivamente no cartucho do milho (Yan *et al.*, 2022).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos na presente pesquisa é possível inferir que o controle de *Spodoptera frugiperda* através de métodos alternativos é uma alternativa viável e necessária diante do manejo incorreto dos inseticidas sintéticos. O uso de agentes biológicos, como bactérias, fungos e vírus tem se mostrado promissor no que refere ao controle de *S. frugiperda*.

Embora os bioinsumos e os extratos botânicos apresentem resultados promissores no manejo de *Spodoptera frugiperda*, sua eficiência ainda depende de fatores ambientais e de limitações relacionadas à estabilidade e persistência das formulações. Dessa forma, o controle da praga deve ser baseado em uma abordagem integrada, combinando controle biológico, fitopesticidas e, quando necessário, o uso racional de produtos químicos. Além disso, o desenvolvimento de tecnologias que aumentem a estabilidade e a eficiência desses produtos, aliado à validação em condições de campo, é fundamental para consolidar estratégias sustentáveis e eficazes no manejo da lagarta-do-cartucho.

REFERÊNCIAS

- ADJAOKE, A. M.; YOTTO, G. T.; ADANDONON, A. Assessment of damage and biocontrol agents of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE SMITH, 1797) (Lepidoptera, Noctuidae) on maize in southern of benin republic. **JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 33, n. 4, 2023.
- ALVES, A. C. L. *et al.* Insecticidal activity of essential oils on *Spodoptera frugiperda* and selectivity to *Euborellia annulipes*. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e260522, 2022.
- BAKRY, M. M. S.; ABDEL-BAKY, Nagdy F. Impact of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) infestation on maize growth characteristics and yield loss. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e274602, 2024.
- BATEMAN, M.L.; DAY, R.K.; LUKE, B.; EDGINGTON, S.; KUHLMANN, U.; COCK, M.J. Assessment of potential biopesticide options for managing fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Africa. **Journal of Applied Entomology**, v. 142, n.9, p.805-819, 2018.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. O milho e o clima. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014. 84 p. il.
- BIRD, L. J.; DRYNAN, L. J. Comparison of insecticide toxicity in adult and larval stages of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) and *Helicoverpa armigera* (Hünber)(Lepidoptera: Noctuidae). **Crop Protection**, v. 166, p. 106185, 2023.
- BORTOLOTTTO, O. C.; POMARI-FERNANDES, A.; S.; Gilberto R. B. de. G. defoliation by *Spodoptera frugiperda* Smith, 1797 (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Ciência Rural**, v. 52, 2021.
- BOTHA, A.S.; ERASMUS, A.; DU PLESSIS, H.; VAN DEN BERG, J. Efficacy of Bt maize for control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in South Africa. **Journal of Economic Entomology**, v. 112, p. 1260-1266, 2019.
- CAMPOS, E. V., PROENÇA, P. L., OLIVEIRA, J. L., BAKSHI, M., ABHILASH, P. C., & FRACETO, L. F. Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: Future perspectives. **Ecological Indicators**, 105, p. 483-495, 2019.
- CARNEIRO, J. *et al.* Avaliação de danos de *spodoptera frugiperda* em diferentes cultivares de milho (*Zea mays* L.) E diferentes tratamentos de sementes. **Revista de Geopolítica**, v. 16, n. 5, p. e938-e938, 2025.
- CHOWDHURY, S.; KAR, K.; MAZUMDER, R. Exploration of different strategies of nanoencapsulation of bioactive compounds and their ensuing approaches. **Future Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 10, n. 1, p. 72, 2024.

CRESPPO, A.M. Manejo da lagarta-do-cartucho do milho (*Spodoptera frugiperda*): panorama geral das atualizações no controle alternativo. Alegre Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, 2021. 20 fl.

CRUZ, G. dos S. Efeitos subletais de óleos essenciais associados com *Bacillus thuringiensis* var. aizawai sobre *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). 2012.

CRUZ, G. S. *et al.* Chemical composition and insecticidal activity of the essential oils of *Foeniculum vulgare* Mill., *Ocimum basilicum* L., *Eucalyptus staigeriana* F. Muell. ex Bailey, *Eucalyptus citriodora* Hook and *Ocimum gratissimum* L. and their major components on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 20, n. 5, p. 1360-1369, 2017.

DUTRA, Kamilla de Andrade. Avaliação dos óleos essenciais de Piperaceae sobre a toxicidade e parâmetros fisiológicos em *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) e efeito sinergista dos seus componentes majoritários. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Características da planta**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: [Portal Embrapa – Características da planta](#). Acesso em: 12 maio 2026.

FELDMANN, N. A. *et al.* TECNOLOGIA BT NO CONTROLE DE *Spodoptera frugiperda* NA CULTURA DO MILHO. **Revista Inovação: Gestão e Tecnologia no Agronegócio**, v. 2, p. 255-276, 2023.

GAIBOR FERNÁNDEZ, R. *et al.* Variation over time of bioinsecticides effect on *Spodoptera frugiperda* incidence in corn (*Zea mays*) in dry season in mocache, los ríos, Ecuador. 2023.

GARLET, C. G. *et al.* Fitness cost of chlorpyrifos resistance in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on different host plants. **Environmental Entomology**, v. 50, n. 4, p. 898-908, 2021.

HRUSKA, A.J. Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) management by smallholders. **CABI Reviews**, n. 2019, p. 1-11, 2019.

HUANG, F. Resistance of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, to transgenic *Bacillus thuringiensis* Cry1F corn in the Americas: lessons and implications for Bt corn IRM in China. **Insect Science**, v. 28, n. 3, p. 574-589, 2021.

LEMUS DE LA CRUZ, A. S. *et al.* Nanoemulsified formulation of Cedrele odorata essential oil and its larvicidal effect against *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). **Molecules**, v. 27, n. 9, p. 2975, 2022.

LIMA, A. PS *et al.* Insecticide activity of botanical compounds against *Spodoptera frugiperda* and selectivity to the predatory bug *Podisus nigrispinus*. **Crop protection**, v. 136, p. 105230, 2020.

MAHMOOD, S.; PARWEZ, H. The repository of biocontrol agents for *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) with emphasis on their mode of action. **The Journal of Basic and Applied Zoology**, v. 85, n. 1, p. 18, 2024.

MICHELOTTO, M. D. *et al.* Efficacy of transgenic maize insecticide treatment to control fall armyworm in late-season maize in São Paulo state, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 2, p. 128-138, 2017.

MICHELOTTO, M. D. *et al.* Milho transgênico (Bt): efeito sobre pragas alvo e não alvo. **Nucleus (16786602)**, v. 10, n. 3, 2013.

MONTEZANO, D. G. *et al.* Biotic potential and reproductive parameters of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.13, p. 240–252, 2019.

MONTEZANO, D. G.; SPECHT, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; ROQUE-SPECHT, V. F.; SOUSA-SILVA, J. C.; PAULA-MORAES, S. V. D.; 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. 2018.

NASCIMENTO, P. T. *et al.* Influence of transgenic maize on behavior of adult female of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae). **International Journal of Maize & Sorghum**, v. 19, p. 11-11, 2020.

ONKARAPPA, D. *et al.* Sub-lethal effects of indigenous isolate of *Spodoptera frugiperda* nucleopolyhedrovirus on fall armyworm growth and reproduction in India. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 33, n. 1, p. 10, 2023.

SAMPAIO, F. *et al.* A new biocontrol agent against old enemies: the potential of *Trichogramma foersteri* for the control of *Spodoptera frugiperda* and *Spodoptera eridania*. **Biological Control**, v. 192, p. 105504, 2024.

SAYED, R. M.; IBRAHIM, S. S.; EL-GEHALY, H. M. K. H. Susceptibility of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae), larvae to un-irradiated and gamma-irradiated entomopathogenic nematodes. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 32, n. 1, p. 119, 2022.

SHARANAPPA, C. H. *et al.* Toxic effect of cyanobacterial (blue–green algae) extracts as natural pesticides for the control of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae). **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 33, n. 1, p. 77, 2023.

SILVA, S. M. *et al.* Synergistic effects of binary mixtures of linalool with pyrethroids against fall armyworm. **Biosci. J**, v. 36, p. 228-237, 2020.

SOMBRA, K. E. S *et al.* Potential pesticide of three essential oils against *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae). **Chilean journal of agricultural research**, v. 80, n. 4, p. 617-628, 2020.

SRIKANTH, J. *et al.* First report of occurrence of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Sugarcane from Tamil Nadu, India. 2018.

SU, X. *et al.* Pore engineering of micro/mesoporous nanomaterials for encapsulation, controlled release and variegated applications of essential oils. **Journal of Controlled Release**, v. 367, p. 107-134, 2024.

TANG, F. H. M *et al.* International demand for food and services drives environmental footprints of pesticide use. **Communications earth & environment**, v. 3, n. 1, p. 272, 2022.

ULLAH, M. I. *et al.* Insights into sublethal effects of *Metarhizium anisopliae* on the biotic potentials of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae) on maize. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 33, n. 1, p. 96, 2023.

VIVEKANANDHAN, P. *et al.* Entomopathogenic fungi based microbial insecticides and their physiological and biochemical effects on *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, v. 13, p. 1254475, 2023.

WEI, J. *et al.* Isolation and identification of *Metarhizium guizhouense* Xct1 and its pathogenicity to *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae). **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 33, n. 1, p. 41, 2023.

YAMMINE, J. *et al.* Advances in essential oils encapsulation: development, characterization and release mechanisms. **Polymer Bulletin**, v. 81, n. 5, p. 3837-3882, 2024.

YAN, X. *et al.* Broadcasting of tiny granules by drone to mimic liquid spraying for the control of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*). **Pest management science**, v. 78, n. 1, p. 43-51, 2022.